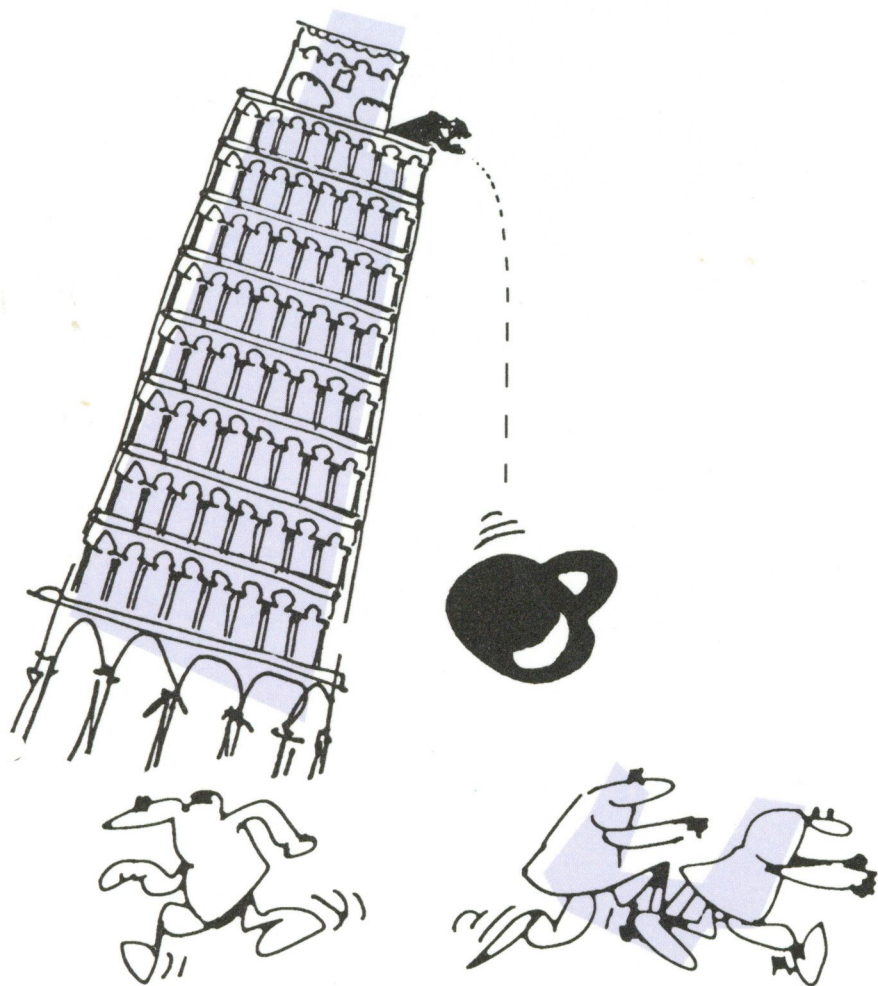




Т В О Й К Р У Г О З О Р

М. М. КОЛТУН

Мир физики



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОСВЕЩЕНИЕ»

Мир физики

М. М. Колтун





ПРОСВЕЩЕНИЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО



Т В О Й К Р У Г О З О Р

М. М. Колтун

МИР ФИЗИКИ

Иллюстрации В. С. Коноплянского

М О С К В А

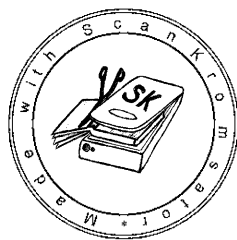
« П Р О С В Е Щ Е Н И Е »

2 0 0 8

УДК 087.5: 53
ББК 22.3
К61

Серия «Твой кругозор» основана в 2007 году

Научный редактор Г.А. Гухман



Колтун М. М.

К61 Мир физики: [для ст. шк. возраста] / М.М. Колтун; ил. В. С. Коноплянского. — М.: Просвещение, 2008. — 176 с.: ил. — (Твой кругозор). — ISBN 978-5-09-017959-1.

Книга замечательного педагога и ученого, профессора М.М. Колтуна является введением в поистине великий и неисчерпаемый мир физики. Вы узнаете о процессах, происходящих в природе, об открытии физических законов и закономерностей, о великих ученых, приблизивших человечество к разгадке тайн бытия.

**УДК 087.5: 53
ББК 22.3**

ISBN 978-5-09-017959-1

© Издательство «Просвещение»,
оформление, дизайн серии, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1

МНОГОЛИКАЯ ПРИРОДА	9
СКВОЗЬ ДАЛЬ ВЕКОВ	10
ТАНЕЦ ПОД МИКРОСКОПОМ	11
АТМОСФЕРА НА... РАБОЧЕМ СТОЛЕ	12
КАЖДАЯ КЛЕТКА ЖДЕТ ЛЬВА	13
ПО ДОРОГЕ ОТКРЫТИЙ	14
СНАРЯД ЛЕТИТ ОБРАТНО	16
ПРЕКРАСНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ НОВОСТИ С ТЕЛЕГРАФНОЙ ЛЕНТЫ	17
И ВСЕ-ТАКИ ОН ВРАЩАЕТСЯ	18
ЛИЛИПУТЫ СОВЕРШАЮТ ГУЛЛИВЕРСКИЕ ДЕЛА	20
МАЛ ЗОЛОТНИК, ДА ДОРОГ	23
ИСПОЛНЕНИЕ МЕЧТЫ	25
ПУШКА, СТРЕЛЯЮЩАЯ НЕВИДИМЫМИ СНАРЯДАМИ	26
САМАЯ ИНТЕРЕСНАЯ ЧАСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТА	27
ЧУДЕСА В МИРЕ ХОЛОДА	29
НОВОЕ СОЗДАЮТ МЕЧТАТЕЛИ	30

ГЛАВА 2

ДВИЖЕНИЕ, ДВИЖЕНИЕ, ДВИЖЕНИЕ...	32
КАК ТРУДНО ПЛАНЕТЫ МЕНЯТЬ МЕСТАМИ!	32
ЗАКОНЫ НЕБЕСНЫЕ И ЗЕМНЫЕ	34
НОВЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИБОР — СЕРДЦЕ	35
СПАСИБО ШКОЛЬНОЙ ССОРЕ	37
НЕВЕДОМАЯ СИЛА ТЯГОТЕНИЯ	38

Лед — верный союзник исследователей теплоты	40
Движение, изменившее свой вид	42
Всегда ли справедлив закон?	44
Планета, увиденная впервые... на бумаге	46
В экспериментах участвует Вселенная	48
Мир световых скоростей	49

Глава 3

Всепобеждающая электрическая сила	52
Электричество спускается с неба	53
Скальпель, соединенный с... молнией	55
Физике все возрасты покорны	57
Электричество получает законы	59
Непохожие близнецы	61
Открытие Фарадея	63
Плененное электричество	65
Непроторенными тропами	66
Необъятная энергия крохотного атома	68
Панацея от экологических бед или источник губительных катастроф?	70
Солнце будет гореть на Земле!	73

Глава 4

Преобразования света	75
Всматриваясь в глаз	76
Поднимем предмет... не прикасаясь к нему	77
Если бы мы жили под водой...	79
Непрозрачное зеркало... из двух прозрачных стекол	80
Расщепленный свет	81
Ловушка для лучей	83
Начало бесконечной дороги	85
«Ведь все взрослые были когда-то детьми»	86
Продолжение полезных споров	87
Повороты на пути к истине	88
Рука помощи, протянутая из... девятнадцатого века	90
Плоды заботливо посаженных семян	90

Глава 5

Невидимый свет, неслышимый звук	93
Как увидеть невидимое?	94
Судьба великих открытий	95
Вера, основанная на... измерении	96
Замечательная дырка	97

НЕВИДИМКИ РЯДОМ	98
СОГРЕВАЕМСЯ... ОТДАВ СВОЕ ТЕПЛО	99
НАШ ДРУГ — АТМОСФЕРА	100
ХОЛОДНЫЙ И ТЕПЛЫЙ СВЕТ	101
НЕЗАМЕТНЫЕ И НЕЗАМЕНИМЫЕ ДРУЗЬЯ	102
НЕРАЗРУШАЮЩИЙ АНАЛИЗ	103
«ГОВОРЯЩАЯ МОЛНИЯ»	104
СИЛЬНЕЕ БУРЬ, ВЕТРОВ И НЕПОГОДЫ	107
«НЕПОНЯТНОЕ В БАНОЧКЕ»	108
ДЛИННОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ КОРОТКИХ ВОЛН	110
НЕВИДИМЫЕ КАРТИНКИ, НЕСЛЫШИМЫЕ ЗВУКИ ПРОНОСЯТСЯ МИМО НАС	113
ТАМ, ГДЕ ЗВУК БЫСТРЕЕ СВЕТА	114
ОГЛЯДЫВАЯСЬ НАЗАД	116

Глава 6

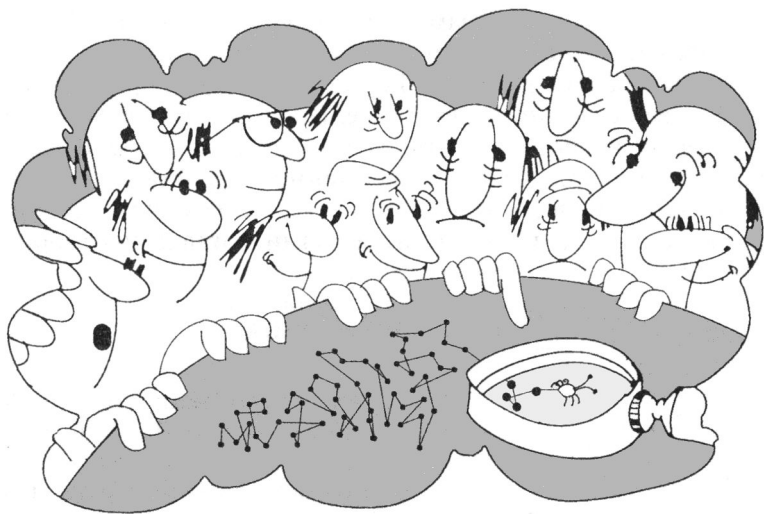
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ	118
ОБРУЧАЛЬНОЕ КОЛЬЦО, СТАВШЕЕ ЗНАМЕНИТЫМ	118
СЕМЬ БЕССМЕРТНЫХ НЕДЕЛЬ	119
БЕСЦЕННЫЙ ДАР	121
ЛУЧШИЙ НА СВЕТЕ ОПТИК — ПРИРОДА	122
СЛАВА ПЛОХОЙ ПОГОДЕ!	123
ВСЕ ДОРОГИ ВЕДУТ... К ЧЕЛОВЕКУ	124
НА ДАЛЬНИХ ПОДСТУПАХ К «ПРИРОДЕ ВЕЩЕЙ»	126
КАК МНОГО МОЖНО УВИДЕТЬ В ОКНАХ ДВОРЦА!	127
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ПРЕВРАЩАЕТСЯ В СВЕТ	128
УЧЕНЫЕ ТОЖЕ ЛЮБЯТ ИГРАТЬ В КУБИКИ... ИЗ КРИСТАЛЛОВ	129
«ЧЕСТЬ ДЕЛАТЬ ОТКРЫТИЯ»	129
КАК ТРУДНО РАССТАВАТЬСЯ С ПРОШЛЫМ	130
РОЖДЕНИЕ НОВОЙ ТЕОРИИ	131
РЕШАЮЩИЕ ОПЫТЫ	132
ВСТРЕЧА... В УЧЕБНИКЕ ФИЗИКИ	133
НЕРАЗРЫВНАЯ СВЯЗЬ	134

Глава 7

ЗЕРНИСТОЕ СТРОЕНИЕ МАТЕРИИ	135
ТРУДНО ОПИСАТЬ ГОРЬ ВЕРЬЛЮДА	135
«УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ КАТАСТРОФА»	137
«НЕЧТО НОВОЕ, ДОТОЛЕ НЕСЛЫХАННОЕ»	137
ВСЕВИДАЮЩИЙ ГЛАЗ	139
С УЛЬТРАФИОЛЕТОМ МОГУТ БЫТЬ СВЯЗАНЫ НЕ ТОЛЬКО КАТАСТРОФЫ	141
УКРОЩЕНИЕ СВЕТА	141
ИЗ ЛАЗЕРА НА ЛУНУ	143

ПУШКА, СТРЕЛЯЮЩАЯ... СВЕТОМ	145
НЕСОВМЕСТИМОЕ СОВМЕЩАЕТСЯ	147
НОВЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОНА	149
ОДИН В ДВУХ ЛИЦАХ	151
ЖИВЫЕ КАРТИНЫ	153
ПОЗДНЕЕ, НО СПРАВЕДЛИВОЕ ПРИЗНАНИЕ	155
ВОЛШЕБНЫЕ СТЕКЛА, КОТОРЫЕ НЕ СТРАШНО РАЗБИТЬ	156
ИГРАЕТ ЛИ БОГ В КОСТИ?	157
 Глава 8	
Мир очень маленький и... очень большой	159
КАК ПОЛЕЗНО СЛУШАТЬ ЭХО!	160
ГОЛОС ДАЛЕКИХ МИРОВ	161
КАК ХОРОШО, ЧТО НАША ЗВЕЗДА — СОЛНЦЕ	161
КОСМИЧЕСКОЕ «ТОЧИЛО»	163
ПОЛЕЗНЫЙ СОВЕТ... ИЗ ДРУГОЙ ГАЛАКТИКИ	163
ТЕОРИЯ, НАШЕДШАЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ЧЕРЕЗ ТРИДЦАТЬ ЛЕТ	164
«НЕЧТО МАЛЕНЬКОЕ И НЕЙТРАЛЬНОЕ»	166
В НЕДРАХ СОЛНЦА	167
БЕСЦЕННАЯ НЕВИДИМКА	168
ЗА ШУТКОЙ ПАУЛИ ВСЕ ЖЕ СКРЫВАЛАСЬ ПРАВДА	169
ТЕЛЕСКОПЫ, МЕНЕЕ ВСЕГО ПОХОЖИЕ НА... ТЕЛЕСКОПЫ	170
ЧЕЛОВЕЧЕСТВО ВГЛЯДЫВАЕТСЯ В ПРОШЛОЕ, ЧТОБЫ ТОЧНЕЕ ПРЕДСКАЗАТЬ БУДУЩЕЕ	172
 ОБ АВТОРЕ	 175

МНОГОЛИКАЯ ПРИРОДА



Мне достаточно испытывать ощущение вечной тайны жизни, осознавать и интуитивно постигать чудесную структуру всего сущего и активно бороться, чтобы схватить пусть даже самую малую крупинку разума, который проявляется в Природе.

А. Эйнштейн

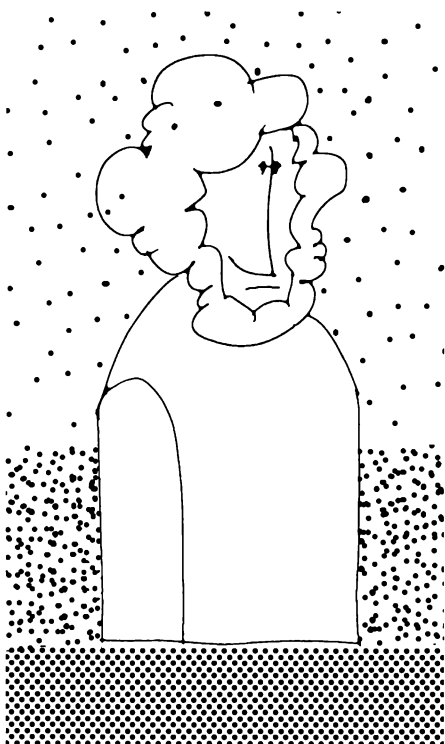
Природа многолика, но на первый взгляд понятна и привычна. Несмотря на удивительное многообразие материалов и веществ, окружающих нас не только в физической лаборатории, но и в повседневной жизни, любые вещества могут находиться всего в трех состояниях: твердом, жидком и газообразном.

Некоторые твердые тела проводят электрический ток и называются металлами; другие — наоборот, препятствуют его прохождению и получили наименование изоляторов, или диэлектриков; третьи — ведут себя по отношению к электрическому току так, как «диктуют» им внешние условия (свет, температура) или количество посторонних примесей внутри твердого тела: иногда проводят ток, иногда — нет. Эти вещества-хамелеоны носят название полупроводников. И опять — всего три класса, три образа веществ! Происходят и знакомые переходы веществ из одного состояния в другое: замерзая, вода становится твердым льдом, при нагревании она испаряется, превращаясь в водяной пар.

Современная физика сумела не только ответить на неизбежно возникающий вопрос: почему все это происходит? Физикам нашего времени удалось осуществить в добавление к привычным превращениям веществ и много новых, неожиданных, странных. Но предстоит пройти еще очень долгий путь, прежде чем они в совершенстве овладеют искусством управлять свойствами материалов. А начался этот путь давно — вероятно, еще задолго до наступления новой эры, когда дальновзоркие философы Древней Греции и Рима впервые предположили, что все вещества состоят из мельчайших частичек — атомов, название которых в переводе с греческого означает «неделимый»...

Именно тогда закладывалось современное представление о строении веществ, которое все последующие годы позволяло ученым, озабоченым удивительными и проницательными догадками, творить физические чудеса.

Сквозь даль веков



«Атомы бесконечны в числе и бесконечно различны по форме...» Трудно поверить, что эти слова написаны около 2500 лет назад. «Различия всех предметов зависят от различия их атомов в числе, величине, форме и порядке». И даже еще категоричнее: «Ничто не существует, кроме атомов и пустого пространства. Все прочее есть мнение». Автор этих слов — древнегреческий ученый Демокрит, живший в V веке до нашей эры.

Мы искренне восхищаемся техническими предвидениями писателей-фантастов Жюль Верна и Герберта Уэллса, возникшими за 50—100 лет до реального воплощения описанных ими аппаратов. Многие ученые справедливо гордятся гипотезами, высказанными за 10—20 лет до их экспериментального подтверждения. «Гипотеза о сверхтекучем состоянии нейтронных звезд была выдвинута в 1959 году А. Б. Мигдалом», — читаем мы о

физическом явлении, подтвержденном наблюдениями астрономов в 1969 году. Что же можно сказать об идее существования атомов, родившейся за тысячелетия до того, как физики стали обдумывать опыты, подтверждающие эту смелую и совершенно верную мысль? Нам остается лишь еще раз поразиться могуществу человеческого разума.

Конечно, об идеях Демокрита помнили и ученые XVII—XVIII веков. В 1647 году француз Пьер Гассенди высказал предположение, что атомы объединяются в небольшие группы, для которых он даже придумал название — «молекулы», производное от латинского «молес» — «масса». Слово «молекула» можно перевести как «небольшая масса», «массочка».

В 1661 году англичанин Роберт Бойль написал о том, что при обычных химических превращениях атомы различных веществ остаются неизменными, но выразил уверенность, что когда-нибудь будет найден «сильный и тонкий агент», с помощью которого удастся разбить атомы на составные части и превратить одни атомы в другие. И опять мы можем только удивляться верности предсказаний мыслителей прошлых веков!

Надежду заглянуть вглубь вещества ученые связывали с изобретением оптического микроскопа. Телескоп позволил Галилео Галилею сделать целый ряд астрономических открытий, а микроскоп (в самом начале, правда, это была лишь небольшая двояковыпуклая линза) открыл перед изумленными глазами исследователей Природы мир крохотных живых существ — насекомых, микробов, бактерий, дал возможность подробно разглядеть поверхность минералов и разнообразных предметов, окружающих человека.

В стихотворении, созданном в декабре 1752 года, первый русский академик Михаил Васильевич Ломоносов с восторгом писал:

Коль много Микроскоп нам тайностей открыл,
Невидимых частиц и тонких в теле жил!

Но до экспериментального подтверждения замечательных догадок о существовании атомов и молекул было еще, конечно, очень далеко. Первое физическое явление, позволившее приоткрыть завесу над тайной строения вещества, было описано не физиком, а ботаником в 1827 году.

Танец под микроскопом

В начале XIX века микроскопы уже представляли собой сложные оптические сооружения из нескольких хорошо отполированных линз, передвигаемых относительно друг друга. С их помощью можно было получить значительное увеличение, и поле зрения при этом оставалось чистым, без каких-либо дефектов и искажений. Пред «светлы очи» такого усовершенствованного микроскопа английский ботаник Роберт Броун решил представить не лист растения или срез дерева, а... крохотную каплю воды с размешанной в ней пылью растений. Взглянув в микроскоп, Броун был поражен: пыльца не растворилась в воде, а разбилась на мельчайшие шарики, и эти шарики двигались в каком-то фантастическом танце!

Длительные наблюдения убедили Бруна в том, что движения частичек пылицы вызваны не «подводными течениями» в капле жидкости и не легкими сотрясениями подставки микроскопа. Нет, каждая частичка двигалась совершенно обособленно от других, во вне-

запных передвижениях частичек пылицы не было никакой согласованности. Неведомые и непонятные Броуну силы заставляли их так странно себя вести.

Многие ученые повторяли опыты Броуна и наблюдали в микроскоп ту же самую картину. Таинственные перемещения пылицы растений в капле жидкости получили название броуновского движения. Все чаще высказывалось учеными обоснованное предположение: обнаруженное Броуном движение вызвано толчками невидимых под микроскопом молекул жидкости. Атакуемые молекулами со всех сторон, частички пылицы передвигаются в ту сторону, с которой в эту секунду меньше ударов.

Броуновское движение было обнаружено не только в жидкости, но и в газах. К тому же оказалось, что и мелкие крупинки золота, размешанные в воде, вели себя точно так же. Исследователи установили, что при повышении температуры жидкости или газа частички начинают двигаться значительно быстрее, — видимо, толчки молекул при этом учащаются.

Французский физик Жан Перрен решил воспроизвести броуновское движение искусственно, изготовив мелкие шарики из смолы-гуммигута, чтобы опытным путем получить сведения о размере и количестве атомов и молекул жидкости. И Перрен сумел это сделать!

Атмосфера на... рабочем столе

Перрену пришлось выполнить поистине ювелирную экспериментальную работу. Например, получить шарики гуммигута строго одинаковые по диаметру. Для этого он воспользовался микроцентрифугой.

Со временем центрифуги стали широко применяться в медицине для разделения крови на составляющие или на молочных фермах, где они помогают быстро отделить сливки от молока. Но тогда, в самом начале XX века, в 1908 году, с центрифугами только-только начинали работать. Центрифуга Перрена вращала пробирки, установленные перпендикулярно к оси мотора, со скоростью 2500 оборотов в минуту! В пробирках содержалась взвесь шариков гуммигута в воде, и первыми при вращении прижимались ко дну пробирок самые тяжелые шарики.

Перрен настойчиво в течение нескольких месяцев отделял одни шарики гуммигута от других и измерял их под микроскопом, пока не получил несколько порций взвеси с шариками строго определенных диаметров: 0,5, 0,46, 0,37, 0,21 и 0,14 мкм (вспомним, что микрометр, или микрон — тысячная доля миллиметра!). Затем исследователь стал экспериментировать, воспроизводя броуновское движение с помощью этих шариков, заменявших частички пылицы растений, размеры которых были Броуну неизвестны.

В одном из опытов Перрен, зажав каплю взвеси между двумя стеклами (расстояние между ними составляло 100 мкм), поставил стекла вертикально и наблюдал, как частички медленно опускались вниз. Когда частички постепенно разделились по высоте, он уви-

дел, что полученное распределение очень напоминает строение... атмосферы Земли. У нижнего края стекол скопилось много частиц, и количество их уменьшалось с высотой в соответствии с законом изменения плотности газов, составляющих атмосферу Земли. Ко времени опытов Перрена ученые уже знали, что плотность кислорода в воздухе убывает вдвое с подъемом на каждые 5 км; плотность углекислого газа падает в два раза при подъеме на высоту всего 3,6 км, а для такого же уменьшения плотности гелия надо подняться на высоту 40 км! Ученые понимали, что подобная закономерность связана с различием масс отдельных молекул, но только опыты Перрена подтвердили этот вывод точными цифрами.

Когда Перрен заканчивал свои опыты, Альберт Эйнштейн опубликовал формулу, позволяющую рассчитать число молекул в единице объема, если известен радиус крохотного шарика и его среднее смещение в сторону под ударами молекул. Перрену был известен радиус шариков гуммигута, а с помощью микроскопа и целой серии подробнейших рисунков он нашел среднее смещение шариков определенного размера.

Расчеты по формуле Эйнштейна удивительно точно совпали с выводами, сделанными Перреном из сравнения поведения шариков в воде с распределением плотности воздушной атмосферы Земли по высоте. Оба пути привели к одному и тому же числу: 6×10^{23} частиц водорода в одном моле при массе каждого атома водорода $1,7 \times 10^{-24}$ г. Молекула водорода, состоящая из двух атомов, следовательно, весит в два раза больше. Теперь ученые знали абсолютную массу атомов и молекул, еще не видя их...

Каждая клетка ждет льва

Не успели закончиться эти виртуозные исследования, выполненные удивительно простыми средствами, как ученых стали волновать другие вопросы: чем атомы и молекулы одного химического элемента отличаются от атомов и молекул другого и как, собственно, устроен атом каждого элемента?

Незадолго до опытов Перрена великим химиком Менделеевым была составлена Периодическая таблица химических элементов, и физики чувствовали, что строгая последовательность в изменении свойств элементов, повторяемость основных характеристик веществ ровно через каждые два, восемь, восемнадцать, тридцать два элемента таит еще не познанную физическую причину. История науки сохранила замечательные примеры уверенности Дмитрия Ивановича Менделеева в универсальности открытого им закона.

Ко времени опубликования закона (статья Менделеева появилась в одном из немецких журналов в 1869 году) в природе было обнаружено сравнительно мало химических элементов, и Менделеев оставил некоторые из клеток своей таблицы... пустыми. Он не просто сохранил места для будущих находок химиков, но и описал (причем подробно) физические и химические параметры еще не открытых элементов.

Например, в 1871 году Менделеев написал, что пустое место в вертикальном столбце Периодической таблицы под кремнием должен занять элемент, условно названный им экакремнием, со следующими свойствами: атомная масса — 72, цвет — серый, плавится с трудом, плотность — $5,5 \text{ г/см}^3$, окись экакремния имеет формулу EsO_2 , обладает плотностью $4,7 \text{ г/см}^3$, и под действием водорода из нее можно выделить экакремний; хлористый экакремний EsCl_4 кипит при 90°C , и его плотность равна $1,9 \text{ г/см}^3$.

Конечно, эти свойства не могли подсказать химикам, как и где искать такой химический элемент, но пустая клетка в таблице Менделеева вселяла в них уверенность, что он существует в Природе. Помните старый охотничий рассказ о том, как проще всего поймать льва в Африке? «Надо, — говорит бывалый охотник, — разгородить Африку на клетки, и в одной из них непременно окажется лев!»

Трудно найти новый элемент среди необъятного моря природных веществ и химических соединений, почти так же трудно, как поймать льва в Африке описанным способом. И тем не менее вскоре после опубликования работ Д. И. Менделеева были найдены (в 1875 и 1879 году!) в редких рудах и минералах галлий и скандий с описанными Менделеевым свойствами. Наступила очередь и экакремния.

В 1886 году немецкий химик К. Винклер выделил из минерала артродита новый химический элемент, получивший в честь родины его первооткрывателя наименование германия. Вот каковы основные характеристики германия: атомная масса — 72,6, трудно испаряется, серого цвета, плотность — $5,4 \text{ г/см}^3$, окись германия имеет формулу GeO_2 , плотность — $4,7 \text{ г/см}^3$, и в чистом виде новый элемент можно получить из окиси, пропуская над ней водород. Вполне естественно, что оставленное для экакремния место под кремнием занял германий. Как хорошо сказал один из физиков, Менделеев предвидел в этом элементе все, кроме его названия.

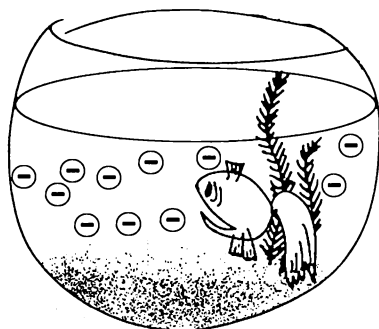
Пустые клеточки в Периодической таблице постепенно заполнялись элементами, предсказанными Менделеевым, но понять закономерность, лежащую в их расположении, ученые пока не могли.

По дороге открытий

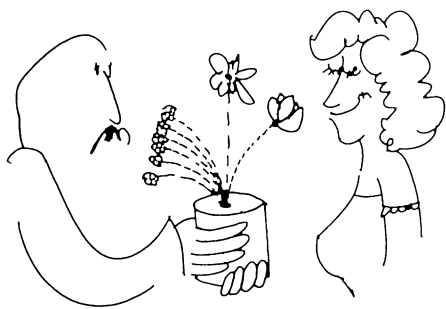
Ганс Гейгер, коллега и ученик замечательного английского физика Эрнеста Резерфорда, вспоминая как-то об одном из наиболее важных событий в истории физики, происшедшем в самых первых числах 1911 года, написал в письме к другому ученику Резерфорда, Джеймсу Чедвику: «Однажды Резерфорд вошел в мою комнату, очевидно, в прекраснейшем расположении духа и сказал, что теперь он знает, как выглядит атом...»

Модель атома, предложенная Резерфордом, была в истории физики не первой. Учитель Резерфорда Дж. Томсон, открывший существование электронов, предлагал считать атом положительно заряженным шариком, в котором «плавают» электроны. Положитель-

ный заряд был в воображении Томсона распределен равномерно по всему объему шарика. Немецкий физик Филипп Ленард в 1903 году предложил модель «пустого» атома, внутри которого «летают» никем не обнаруженные (ни раньше, ни теперь) нейтральные частицы, составленные из взаимно уравновешенных положительных и отрицательных зарядов. Ленард даже придумал название для своих несуществующих частиц — динамиды. Но модель Резерфорда была единственной, право на существование которой доказывалось строгими, простыми и красивыми опытами.



К своему открытию Резерфорд пришел не сразу. Работая почти все первое десятилетие XX века в Канаде (до переезда в Англию) вместе с химиком Содди, Резерфорд тщательно изучил явление радиоактивного распада атомов радия, открытое в последние годы XIX века во Франции Беккерелем и супругами Кюри. Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри пропускали излучение, исходящее от радия, через магнитное поле и обнаружили, что часть лучей отклоняется вверх от первоначальной траектории, а путь остальных остается прямолинейным. Резерфорд и Содди окружили кусочек радия более мощными магнитами, чем в экспериментах супругов Кюри, и с удивлением увидели, что та часть излучения, которая до сих пор прямо следовала своей дорогой, также разделилась на две составляющие: летящую по-прежнему прямо и «завернувшую» вниз от воображаемой линии между полюсами магнита.



Значит, из атомов радия самопроизвольно исторгаются три вида частиц или лучей: отрицательно заряженные (те, что отклонились вверх от своего прежнего пути), нейтральные и положительно заряженные! Вскоре, зная силу магнитного поля и величину отклонения в поле частиц-лучей и к тому же используя спектральный анализ (где природу вещества узнают по характерному для него свечению), Резерфорд и Содди доказали, что положительно заряженная часть излучения, получившая название альфа-лучей, представляет собой поток ионизированных атомов гелия. Вывод молодых ученых подтвердил Уильям Рамзай.

Отрицательная часть радиоактивного излучения, получившая наименование бета-лучей, оказалась пучком свободных электронов, летящих с большой скоростью; нейтральную прямолинейную часть ста-

ли называть гамма-лучами — они проникали достаточно глубоко в любое вещество и почти не ослаблялись тонкими пластинками металлов, поставленными экспериментаторами на их пути.

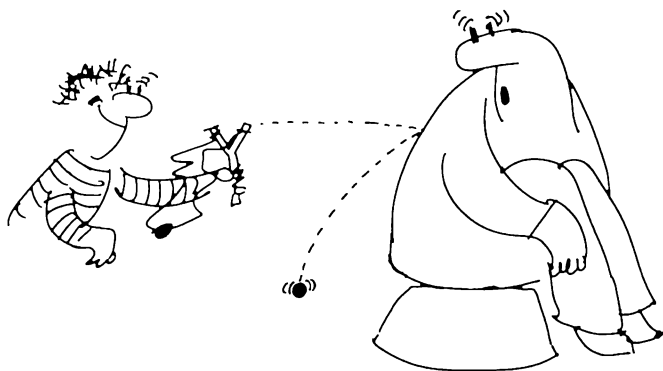
Резерфорд и Мария Склодовская-Кюри стали не просто коллегами-исследователями, но и большими друзьями, духовно очень близкими. Ощукая с особой остротой ценность каждой одаренной личности в мире, дважды лауреат Нобелевской премии Мария Склодовская-Кюри сказала однажды журналистам: «Доктор Резерфорд — единственный из живущих, кто обещает даровать человечеству, как итог открытия радия, неоценимое благо. Я бы посоветовала Англии беречь доктора Резерфорда...»

Резерфорд не только продолжил и углубил исследования супругов Кюри. Он пришел к выводу, что альфа-частицы, вылетающие из радия, представляют собой удобные тяжелые снаряды, которыми следует «обстреливать» атомы других элементов, чтобы попытаться расщепить их на части и узнать, как они устроены. Хотя это и напоминает способ, каким дети узнают, из чего сделаны игрушки.

Снаряд летит обратно

Все эксперименты Э. Резерфорда были выполнены очень просто. Академик П. Л. Капица, работавший в двадцатые годы в лаборатории Резерфорда, вспоминал, что его учитель особенно высоко ценил опыты, установки для которых были построены своими руками из подручных материалов, а сами опыты стоили не дороже нескольких сотен, а лучше — десятков фунтов стерлингов.

В 1910 году в Кембридже, вблизи Лондона, Эрнест Резерфорд со своими учениками и коллегами изучал рассеяние положительно заряженных альфа-частиц, проходивших через тонкую золотую фольгу и падавших на экран, покрытый люминофором, который при этом светился. Альфа-частицы в основном беспрепятственно проходили через фольгу, иногда чуть отклонялись от первоначального прямого направления всего на один градус, подтверждая, казалось бы, равномерность и однородность свойств атомов золота. И вдруг — о чудо! — исследователи заметили, что некоторые альфа-



частицы резко меняли свой путь, будто натываясь на что-то твердое, массивное и одинаково с ними положительно заряженное. Разместив экран перед фольгой, внимательные экспериментаторы сумели обнаружить даже те редчайшие случаи, когда альфа-частица (примерно одна из каждых 10 000!), отразившись от атомов золота, летела в прямо противоположном направлении.

«Это была самая невероятная вещь, которая произошла за всю мою жизнь», — писал впоследствии Резерфорд. Он отмечал, что альфа-частица похожа на небывалый снаряд, которым выстрелили «по куску папиросной бумаги, а снаряд рикошетом вернулся и попал в вас».

Ученые сравнили число пролетевших сквозь фольгу и отраженных альфа-частиц. Расчеты показали, что наблюдаемые ими события могли бы произойти, если бы вся масса атомов и весь положительный заряд были сосредоточены в крохотном центральном ядре. Радиус ядра, как выяснилось, в 100 000 раз меньше радиуса всего атома, той его области, в которой летят, вращаясь вокруг ядра, электроны, имеющие отрицательный заряд. Количество электронов-планет зависит от заряда ядра: у водорода, самого простого атома, всего один электрон, а у золота, например, их семьдесят девять, поскольку тяжелое ядро золота имеет положительный заряд, равный 79.

Результаты опытов, которые привели Резерфорда к мысли о планетарном строении атома, ученый изложил в большой статье «Рассеяние альфа- и бета-частиц в веществе и структура атома», опубликованной в мае 1911 года в английском «Философском журнале». Физики всего мира могли теперь оценить еще одну, на сей раз убедительно подтвержденную экспериментально, модель строения атома.

Прекрасные физические новости с телеграфной ленты

Резерфорд был неутомим. Он тут же предпринял новое исследование: стал определять количество альфа-частиц, отклоненных фольгой на различные углы в зависимости от электрического заряда ядер атомов того вещества, из которого сделана фольга. Исследования были утомительными и трудоемкими, требовали терпения и... хорошего зрения. Еще бы — ведь даже «автоматизация» наблюдений, придуманная в лаборатории Резерфорда, заключалась всего лишь в следующем: рядом со светящимся экраном равномерно ползла лента, похожая на телеграфную, и наблюдатель при виде очередной вспышки нажимал на ключ, выдавливавший на ленте отметку. Этот способ счета торжественно назывался электромагнитным! Терпение исследователей было вознаграждено. Анализируя результаты этих опытов, Резерфорд вывел формулу, связывающую число альфа-частиц, отклоненных на определенный угол, с зарядом ядер вещества фольги-мишени. Теперь можно было из опытов по рассеянию альфа-частиц определять природу материала мишени. В руках исследователей появился первый ядерный метод химического анализа!

Ученые сравнили между собой поведение мишеней из различных материалов и установили, что чем больше заряд ядра, тем сильнее отклоняются альфа-частицы от прямолинейного пути. И здесь впервые физические эксперименты приоткрыли завесу тайны над Периодическим законом элементов. Ведь Менделеев расположил (прежде чем обнаружить Периодичность в изменении химических свойств) все элементы в порядке возрастания их атомных масс. Но затем, заполнив Периодическую таблицу, он вынужден был сделать три отступления от правила: поменять местами аргон с калием, кобальт с никелем и теллур с йодом. Из опытов Резерфорда следовало, что если бы Менделеев расположил элементы в ряд по мере увеличения заряда их ядер, то никаких перестановок делать не потребовалось бы! Физики внесли уточнение в формулировку Периодического закона: химические свойства элементов находятся в периодической зависимости не от атомной массы элементов, а от электрического заряда их ядер. Именно в соответствии с величиной заряда ядер элементы выстраиваются в том порядке, в котором расставил их Менделеев, опираясь на свои энциклопедические знания свойств элементов!

Много нового извлекли исследователи из опытов Резерфорда. Удалось, наконец, оценить размеры даже самого маленького ядра — водорода, вокруг которого вращается всего один электрон. Диаметр ядра водорода оказался чуть больше десятой части триллионной доли сантиметра, или, приводя эту цифру в привычной для физиков математической записи, $1,3 \times 10^{-13}$ см. У атомов более тяжелых, чем водород, диаметр ядра в десятки раз больше. А вот атом водорода целиком заполнял собой пространство диаметром примерно в одну стомиллионную часть сантиметра, или 1×10^{-8} см. Но даже это крохотное пространство, определяемое размерами орбиты электрона, оказалось в несколько тысяч раз больше диаметра ядра! Вскоре удалось сравнить ядро водорода и электрон не только по занимаемому в веществе пространству. Ядро водорода оказалось в 1836,1 раза тяжелее электрона, хотя несло всего одну единицу положительного заряда, противоположного по знаку заряду электрона.

И все-таки он вращается

Что же удерживает электрон от падения на массивное ядро? Конечно, быстрое вращение вокруг него. Но в процессе вращения в поле ядра электрон должен часть своей энергии излучать во все стороны и, постепенно тормозясь, все же упасть на ядро. Эта мысль не давала покоя авторам планетарной модели атома. Очередное препятствие на пути новой физической модели, казалось, должно было разрушить всю с таким трудом построенную и доказанную четкими опытами картину атомной структуры... Хорошо, что в непогрешимость экспериментального мастерства Резерфорда и логику его выводов поверил Нильс Бор.

В те далекие годы только еще начинала объединяться вокруг Бора группа талантливых исследователей из разных стран мира, вско-

ре получившая название Датской школы теоретической физики. Сам же Бор тогда мучительно размышлял над моделью Резерфорда и искал убедительные объяснения тому, что с очевидностью происходит в Природе вопреки всем сомнениям: электроны, не падая на ядро и не улетая от него (если, конечно, внешние силы не вмешиваются в их «жизнь»), постоянно вращаются вокруг своего ядра.

В 1913 году Нильс Бор опубликовал результаты длительных размышлений и расчетов, важнейшие из которых стали с тех пор именовать постулатами Бора: в атоме всегда существуют «разрешенные» орбиты, устойчивые и строго определенные, по которым электрон может мчаться бесконечно долго, не излучая; электрон может переходить в атоме только с одной устойчивой орбиты на другую, столь же устойчивую. Если при таком переходе электрон удаляется от ядра, то необходимо сообщить ему извне некоторое количество энергии, равное разнице в энергетическом запасе электрона на верхней и нижней орбитах. Если электрон приближается к ядру, то лишнюю энергию он «сбрасывает» в виде излучения.

Вероятно, постулаты Бора заняли бы скромное место среди ряда интересных объяснений добытых Резерфордом новых физических фактов, если бы Бор не сумел рассчитать радиусы «разрешенных» орбит для электрона в атоме водорода и определить, волны какой длины должен особенно охотно испускать атом водорода, если подводить к нему извне избыточную энергию, например с помощью яркого света ртутной лампы. Эта теоретическая кривая полностью совпала со спектром испускания возбужденных атомов водорода, измеренным швейцарским ученым Я. Бальмером еще в 1885 году (серией Бальмера)!

Планетарная модель атома получила могучее подкрепление, у Резерфорда и Бора появлялось все больше и больше сторонников. Оба великих физика могли теперь говорить о вращении электрона вокруг ядра так же уверенно, как когда-то Галилео Галилей сказал о движении Земли вокруг Солнца: «И все-таки она вертится!» Планетарная модель атома, не меняясь в своей основе, стала усложняться, дополняться, обрастать новыми важными деталями и подробностями. Физикам, в частности, удалось доказать, что на одной орбите не могут существовать даже два электрона в совершенно одинаковых энергетических состояниях (знаменитый принцип Паули). Близкие орбиты электронов образуют электронные оболочки. Природа, как оказалось, удивительно разнообразно расселила электроны на этих оболочках — этажах каждого атома.

Стала, наконец, понятна глубокая физическая основа Периодического закона Менделеева. Свойства химического элемента прежде всего зависят от заряда ядра атома и количества электронов на самых верхних орбитах. Ведь, вступая в химические реакции или объединяясь в молекулы, атомы отдают или принимают электроны верхних орбит, стремясь иметь до конца заполненную внешнюю электронную оболочку. И физики «раскрыли» химикам глаза на строение электронных оболочек элементов. Выяснилось, например, что даже

в самой активной химической реакции водорода позволяет отдать или принять только один электрон, а углероду — четыре. Совершенно правильно Дмитрий Иванович Менделеев поместил водород в первую группу своей Периодической таблицы, а углерод — в четвертую.

Продолжала совершенствоваться и техника физического эксперимента. Наблюдать и регистрировать пролет быстрых заряженных частиц, таких, как альфа-частицы или электроны стало возможно после изобретения счетчика Гейгера и создания камеры Вильсона. В счетчик Гейгера — кварцевую трубочку, заполненную газом, обычно аргоном, — впаяны два металлических электрода, катод и анод, на которые подается высокое электрическое напряжение от внешнего источника электроэнергии. Попадающая в счетчик заряженная частица вызывает ионизацию газа — «отрывает» внешние электроны от атомов, оставляя на своем пути цепочку электронов и ионов — остатки атомов, которые после ухода части отрицательно заряженных электронов оказались положительно заряженными. Катод и анод на какую-то долю секунды замыкаются через возникшую в газе проводящую цепочку из ионов и электронов — и во внешней электрической цепи возникает всплеск тока, по которому исследователи с уверенностью судят о попадании частицы в счетчик.

Но как увидеть частицу или хотя бы ее след в веществе? Это позволяет сделать камера Вильсона, созданная ее автором, может быть, после длительных наблюдений за лондонскими туманами. Внутри камеры — газ, пересыщенные пары воды или спирта, вот-вот готовые превратиться в жидкость. Быстрая заряженная частица, пролетая через камеру Вильсона, оставляет на своем пути след из мельчайших капелек жидкости, которые можно сфотографировать через прозрачные стенки камеры. В камере можно «столкнуть» две, три частицы и увидеть, что из этого получится; в ней легко зафиксировать искривленный путь альфа-частицы, прошедшей слишком близко от ядра какого-либо из атомов металлической фольги.

Скоростная фотография следов частиц в камере Вильсона заменила собой утомительное ожидание у светящегося экрана и телеграфной ленты. Следы частиц можно увидеть и в толстых слоях особых фотопленок и даже... в обычных стеклах. Если облученные стекла опустить на время в раствор кислоты, то в местах попадания частиц образуются красивые звездные узоры. По рисунку узора специалисты легко узнают «почерк» многих известных частиц. Некоторые стекла к тому же быстро заряжаются при бомбардировке частицами и долго хранят накопленный заряд.

Лилипуты совершают гулливерские дела

Все глубже и дальше проникают исследователи в тайны мельчайших частиц материи, все больше подробностей узнают они о строении молекул и атомов, и начинает казаться, что мир привычных веществ и предметов, хорошо различимых глазами, не вооруженными

особыми приборами и микроскопами, совершенно забыт ими. Но в науке все взаимосвязано и знание об устройстве атома помогает понять, как образуются молекулы, чем отличаются друг от друга газы, жидкости и твердые тела и почему броуновское движение (с которого, можно сказать, и началось научное исследование строения вещества!) легче всего наблюдать в жидкостях и газах.

Свои представления об окружающем мире физики выражают точными цифрами. В стране атомов и молекул чаще других используется крохотная величина, равная стомиллионной доле сантиметра. Она получила название ангстрема — в честь одного из известных ученых. В одном микроне — десять тысяч ангстрем, а десять ангстрем равны одному нанометру и, значит, в одном микроне — тысяча нанометров.

Атомы различных веществ, размеры которых, как правило, составляют один-два ангстрема, обмениваются с себе подобными частицами вещества внешними электронами. Иногда электроны навсегда переходят к соседнему атому — и тогда, получив заряды противоположного знака, эти атомы могут объединяться в молекулы с помощью силы электрического притяжения. Такая связь получила название ионной. Атомы могут и коллективно владеть электронами — пара электронов становится для двух атомов общей, тоже соединяя их в молекулы. Этот вид соединения атомов именуется ковалентной связью.

Конечно, существуют самые различные сочетания этих двух видов связи и нескольких других, менее распространенных в природе. Иногда молекулы бывают такими большими, состоящими из десятков, сотен и тысяч атомов (таковы, например, молекулы полимеров и многих природных веществ), что в одной и той же молекуле существует целый набор разных видов связи. Некоторые атомы большой молекулы могут быть объединены двумя общими электронами (одинарная связь), другие — четырьмя (двойная связь) или даже шестью электронами (тройная связь).

Размеры молекул газов, например кислорода и азота, составляют всего 3—4 ангстрема, а большие органические молекулы живых клеток или искусственного каучука, нейлона, капрона при растяжении их в одну линию займут расстояние в десятки и сотни тысяч ангстрем. При этом ширина органических молекул, как правило, не превышает 5—10 ангстремов. Если сравнить такую молекулу со стальным канатом, то придется представить себе канат диаметром 1 сантиметр и длиной 100 метров!

Научившись оценивать размеры в микромире атомов и молекул, ученые смогли многое понять в поведении различных веществ. В газах среднее расстояние между молекулами во много раз превышает размеры самих молекул; в твердых телах, особенно в кристаллах, атомы обычно упакованы очень плотно, и свободные промежутки между ними не превышают размеров самих атомов. Жидкости занимают в этом смысле промежуточное положение. Представление об этом дает процесс плавления твердого тела.

Например, в куске меди доля свободного пространства составляет 26% (все остальное занято атомами). В расплавленной меди эта доля увеличивается с 26 до 29%. Всего 3% объема оказалось в «распоряжении» атомов, а как изменились свойства вещества! Вместо монолитного куска, в котором трудно заподозрить какое-либо движение, перед нами текучая, подвижная, будто живая, жидкость.

Конечно, и в твердом теле атомы, скрепленные электронными связями со своими многочисленными соседями, незаметно, но постоянно двигаются, колеблются около положения равновесия. В результате увеличения расстояния между атомами при плавлении размах этих движений становится таким большим, что в жидкости атомы способны даже меняться местами друг с другом!

И только в газах этот процесс становится обычным, постоянным способом существования молекул. Наибольшая скорость движения газовых молекул при комнатной температуре достигает 1000—2000 метров в секунду, они постоянно перемещаются, соударяются друг с другом и со стенками сосуда, в котором заключены как в темнице,— без него они быстро разбежались бы во все стороны.

Вполне понятно, что молекулы газа будут со всех сторон «обстреливать» любую инородную частицу, попавшую в их общество,— будь то пыльца растений, частички сажи или металла. Молекулы в газе имеют самые разнообразные скорости и наиболее медленные из них могут преодолевать за секунду «всего» 50—100 м. Естественно, что при броуновском движении направление перемещения частички зависит от того, с какой стороны у нее окажется больше быстрых и «энергичных» молекул.

Постоянные соударения не позволяют газовым молекулам свободно пролетать большие расстояния. При обычных условиях молекулы кислорода до столкновения с кем-то из своих собратьев преодолевают в среднем расстояние всего в 500 ангстрем, а молекулы водорода — в 1000 ангстрем. Именно этим — быстрыми ударами миллиардов молекул — объясняется давление газов и жидкостей, и в частности давление атмосферы Земли. Лилипуты, если их много, могут победить и Гулливера. Помните, как, связанный тысячами их веревочек, Гулливер не мог даже встать?

Как определил еще в XVII веке итальянский ученый Торричелли, ученик Галилея, атмосферное давление способно поднять столбик тяжелой ртути на высоту 76 сантиметров, а воды — почти на 10 метров вверх! Для этого нужно только две стеклянные трубки соединить внизу друг с другом. Давление атмосферы в одной из сообщающихся трубок сумеет без всяких видимых усилий «вытолкнуть» любую жидкость в другой трубке на значительную высоту, если свободный конец этой трубки запаян и она не содержит воздуха.

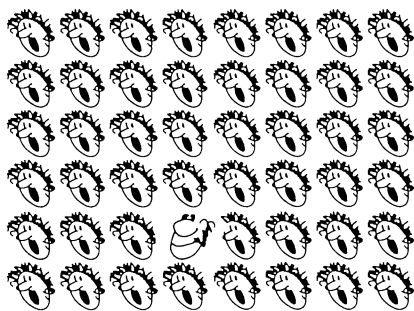
Мал золотник, да дорог

Замечательный французский мыслитель, писатель и ученый Блез Паскаль, современник Торричелли, понял, что на основе таких сообщающихся сосудов легко создать могучий «жидкий» подъемный кран или гидравлический пресс. Для этого диаметр одной из сообщающихся трубок необходимо сделать намного меньше, чем у другой. Тогда достаточно сравнительно небольшого усилия, приложенного к малой трубке, чтобы передвинуть большую массу с помощью жидкости в другом сосуде!

Принцип, предложенный Паскалем, лежит в основе самых современных гидравлических машин и аппаратов, позволяющих получать очень большие давления, необходимые, в частности, для «насильственного» соединения водорода с металлами. Так, еще не зная атомной и молекулярной структуры тел, ученые прошлого обнаруживали удивительные особенности поведения веществ, которые удалось объяснить только в XX веке.

В твердом теле атомы почти не меняются местами, если, конечно, его не нагревать. Нагрев сильно увеличивает быстроту и размах движений атомов около положений равновесия. При высокой температуре твердое тело можно расплавить или даже испарить. Особую группу твердых тел составляют кристаллы, где атомы распределены в строгом геометрическом порядке. Существует много возможностей расположить атомы в правильные ряды, шеренги и составить из них разнообразные геометрические фигуры, хотя, как доказал еще в XIX веке русский ученый Е. С. Федоров, устойчивых конструкций кристаллической решетки ровно 230. Все последующие проверки теории Федорова показали, что в природе не существует других, не предсказанных Федоровым, стабильных кристаллических структур.

Строгая периодичность внутреннего строения кристаллов оказалась очень полезной для современной техники. Свободный электрон, возникший в кристалле под воздействием на него температуры или света, может пройти гораздо большие расстояния, чем в обычном твердом теле, что очень важно при создании электронных приборов. Свет проникает в кристалл глубже, чем в твердое тело того же химического состава, но состоящее из множества случайных, хаотично расположенных по отношению друг к другу атомных групп. И это свойство широко используется в оптике — лучшие линзы и призмы делаются, конечно, из кристаллов.



Обнаружены кристаллы, в которых после приложения давления на разных гранях возникают электрические заряды противоположного знака. И наоборот — после пропускания электрического тока эти кристаллы могут сильно сжиматься или расширяться. Такие удивительные кристаллы, получившие название пьезокристаллов, сейчас широко применяются в электронной технике — ведь даже давление звуковой волны вызывает в них появление и ток электрических зарядов, который может быть легко обнаружен и передан по проводам. Пьезокристаллы «звучат» в часах и поджигают газ в зажигалках.

Глубокое изучение свойств кристаллов показало, что в них возможно достаточно свободное движение атомов. Более того — в кристаллах были найдены различные несовершенства, нарушения в правильном строении кристаллической решетки, пустоты, сдвиги атомов. Пользуясь этими нарушениями структуры, инородные примеси, посторонние металлические или газовые включения могут довольно глубоко проникнуть в кристалл, особенно когда его получают из расплава или раствора исходного вещества. Именно поэтому прочность реальных кристаллов чаще всего в десятки, а то и в сотни раз меньше прочности, которой они должны были бы обладать по теоретическим расчетам.

В начале шестидесятых годов прошлого столетия в нескольких лабораториях мира внимательные исследователи обнаружили под микроскопом, что на поверхности многих кристаллов самопроизвольно вырастают небольшие «усики». Но по атомным масштабам — это небоскребы, где высота в десятки и сотни раз превышает ширину основания.

Образование крохотных «усиков» (или, как их теперь называют, нитевидных кристаллов) происходит за счет малозаметных передвижений атомов по поверхности кристалла. Ведь атомы поверхности опутаны электронными связями только с одной стороны — из глубины кристалла, и это дает им иногда возможность оторваться от соседей и двигаться. Такие блуждающие атомы начинают пристраиваться к случайному выступу на поверхности и окружают его. Рост выступа вверх происходит, как правило, по спирали.

Механизм роста кристаллов-«усиков» интересен, но самым необычным оказалось... полное отсутствие в них каких-либо дефектов. Прочность крохотных кристаллов в сотни раз превышала прочность массивных кристаллов, на поверхности которых они выросли, и полностью соответствовала теоретической.

Открытие нитевидных кристаллов ободовало тех, кому необходимы прочные и легкие конструкционные материалы, других же беспокоила возможность «незапланированного» роста кристаллов в радиотехнических схемах, где такие «усики» могли привести к внезапному выходу из строя электронных приборов. Нитевидные кристаллы стали вплетать в полимерные волокна, соединять с металлами, чтобы получить канаты, ленты и трубы невиданной прочности и долговечности.

Исполнение мечты

Атомно-молекулярные представления объясняли многие непонятные до сих пор особенности поведения веществ, но самих ученых уже влекло дальше — к разгадке структуры атомного ядра! Хотя наиболее дальновидные из физиков понимали, что наука при этом должна вплотную подступить к огромным, неведомым ядерным силам, которые, как джинн из бутылки, могут совершенно выйти изпод контроля их первооткрывателей.

В 1916 году Эрнест Резерфорд говорил в одной из своих публичных лекций, что человечество сейчас пока спокойно и счастливо, ибо ученые еще не открыли способа использовать необъятные силы, удерживающие частицы в атоме. Он, конечно, думал о военном применении будущего атомного оружия, убедившись на собственном опыте, что во время войны всем ученым, даже самым выдающимся, приходится тратить свои силы на изобретение новых средств разрушения.

«...Я очень надеюсь, — сказал Резерфорд, — что это открытие и не будет сделано до тех пор, пока человек не научится жить в мире со своими соседями».

Но наступление атомного века было уже неизбежным. Тайны ядра неудержимо влекли ученых. И в 1919 году 48-летний Эрнест Резерфорд со своими учениками осуществил вековую мечту алхимиков, превратив один химический элемент в другой. Нашелся наконец тот «тонкий и сильный агент», обладающий силой расщепить атом, о котором столь пророчески писал Роберт Бойль. Нет, не бесконечное растирание в ступках и не химические реакции с сильнодействующими кислотами, как делали алхимики, а облучение любимыми Резерфордом альфа-частицами, ядрами гелия, помогло осуществить первое в мире превращение элементов!

Из каждых 50 000 альфа-частиц, обстреливавших камеру, наполненную азотом и насыщенными парами воды, одна попадала в азотное ядро, и наблюдатели видели «вилку»: от азотного ядра разлетались две только что рожденные новые частицы — легкое ядро водорода (тонкий и длинный след в виде мельчайших капель воды вдоль

пути ядер водорода) и тяжелое ядро кислорода (толстый и короткий след). По имени ученого, разработавшего этот метод обнаружения элементарных частиц вещества, основную часть такого прибора называют камерой Вильсона.

Окрыленные успехом исследователи стали облучать и многие другие химические элементы. Ядерные реакции удавалось наблюдать еще в целом ряде ве-



ществ, но только достаточно легкие элементы (фтор, натрий, алюминий) меняли свою химическую природу при облучении. Для расщепления ядер тяжелых элементов энергии альфа-частиц явно не хватало, ведь надо было преодолеть мощные электростатические силы отталкивания со стороны бомбардируемых ядер.

Пушка, стреляющая невидимыми снарядами

Резерфорд, видимо, какое-то время сомневался, удастся ли вообще продвинуться дальше по пути взаимного превращения элементов. Сохранились строки из его частного письма, написанного им в том же 1919 году, году успехов: «Я держусь того мнения, что уж если атом не поддается дезинтеграции (сейчас мы бы сказали проще — делению) с помощью альфа-частиц, то расщепить его в наше время и не удастся».

Написал, а через несколько лет посоветовал группе сотрудников начать работу по созданию ускорителя протонов — ядер водорода. Возможно, что при этом в лаборатории получатся частицы, обладающие значительно большей скоростью и энергией, чем альфа-частицы, возникающие при радиоактивном распаде радия. До тех пор в лаборатории Резерфорда для бомбардировки атомов использовались только альфа-частицы — созданные самой Природой ядерные снаряды! Ведь альфа-частицы — это ядра гелия, обнаруженные в природном радиоактивном излучении радия.

К 1932 году Джон Кокрофт и Эрнст Уолтон сделали лабораторный, небольшой, но, по представлениям Резерфорда, весьма дорогой ускоритель протонов. Затраты на ускоритель составили 1000 фунтов стерлингов (в наше время ускорители стоят значительно дороже). Финансовые огорчения руководителя лаборатории полностью окупились добытыми научными результатами. В первом же опыте, проведенном на протонном ускорителе, произошло превращение элементов: из пластинки лития, облучаемой протонами, вылетели два ядра гелия. Ведь теперь в каждую секунду на пластинку падало такое же количество частиц-«снарядов», сколько мог бы дать кусок чистого радия весом не менее килограмма!

Во всем мире в то время вряд ли можно было бы собрать такое количество радия. Во время триумфальной поездки Марии Склодовской-Кюри по Америке ей в виде величайшего дара был преподнесен целый грамм открытого ею вещества! И этого было достаточно, чтобы начать строительство Института радия в Варшаве, куда уже в 1932 году начали поступать больные для прохождения курса радиотерапии.

1932 год оказался на удивление богатым историческими событиями в ядерном мире. Один из учеников Резерфорда, Джеймс Чадвик, направил поток альфа-частиц на пластинку бериллия, за которой была установлена камера Вильсона. Из бериллия в результате бомбардировки вылетали какие-то новые тяжелые частицы. Их столкновение с ядрами аргона или азота в камере Вильсона привело к превращениям, приоткрывшим наконец завесу над тайной строения самих ядер. Новые частицы не только обладали относи-

тельно большой массой — они были нейтральны и отличались высокой проникающей способностью. Свободно проходя через сравнительно толстые слои газа, эти частицы не вызывали его ионизации, не «отрывали» электроны от атомов. Верный признак, достаточно точно отличающий нейтральную частицу от заряженной.

Новую частицу назвали нейтроном. Ее масса оказалась почти такой же, как у протона, — 1838,6 электронной массы. Открытый нейтрон тут же был использован в лабораториях всего мира для «изготовления» ядерных снарядов. Ими немедленно начали облучать ядра азота, которые в ответ неожиданно распались на ядра бора и гелия!

Советский физик Д. Д. Иваненко, немецкий ученый В. Гейзенберг и итальянский исследователь Э. Майоран, узнав об открытии нейтрона, выдвинули нейтронно-протонную теорию строения ядра. Теория стала вскоре общепринятой, ее подтверждали многие достаточно точные измерения и эксперименты. Ядро каждого элемента по этой теории состоит из протонов и нейтронов, объединенных могучими силами взаимодействия. Эти ядерные частицы получили наименование нуклонов. Число протонов в ядре равно числу электронов, вращающихся вокруг ядра; оно определяет величину положительного заряда ядра атома. В целом атом при обычных условиях электронейтрален. Количество нейтронов в ядре зависит от атомной массы элемента — с помощью нейтронов химический элемент «добирает» свою массу до значения, положенного ему Природой.

В теории Иваненко—Гейзенберга—Майорана был получен ответ на вопрос, который давно волновал как физиков, так и химиков: почему в Природе часто встречаются химические элементы с одним и тем же зарядом ядра и почти одинаковые по свойствам, но вот их атомные массы все же немного отличаются? Объяснение оказалось удивительно простым: вещества состоят из едва различимых разных видов атомов одного и того же элемента; многоликость создается оттого, что каждый элемент может содержать изотопы — атомы, в ядре которых при одинаковом числе протонов (ведь от него зависит главное — заряд атомного ядра!) имеется разное число нейтронов.

В свое время Дмитрий Иванович Менделеев сначала расположил элементы в ряд, руководствуясь одним правилом — возрастанием атомной массы, и неизвестные в те времена нейтроны внесли некоторую путаницу в знаменитую Периодическую таблицу. Вскоре во главу угла совершенно справедливо был положен незыблемый заряд атомного ядра элементов и все встало на свои места.

Самая интересная часть эксперимента

Удивительные события в мире атомов продолжались. Петр Леонидович Капица, работавший в те счастливые для физиков годы в лаборатории Резерфорда, предложил помещать камеру Вильсона в сильное магнитное поле. Теперь физики могли узнать не только

массу частиц, рожденных в камере Вильсона или влетевших в нее (по длине и толщине следа частиц), но и определить их заряд — по тому, куда отклонится след в магнитном поле.

Петр Леонидович с самого начала своей научной работы увлекся магнитными полями большой интенсивности и их воздействием на вещество. Получить мощное магнитное поле на заре атомной физики было совсем не простым делом. Но даже при неудачах один из любимых учеников Резерфорда не падал духом.

Вот характерный отрывок из письма Капицы, отправленного 17 декабря 1925 года Резерфорду в Каир, где тот задержался на четыре дня, возвращаясь из поездки на свою родину, в Новую Зеландию: «...Мы не смогли пойти дальше, так как разорвалась катушка, и это произошло с таким оглушительным грохотом, который несомненно доставил бы вам массу удовольствия, если бы вы слышали его... Авария явилась наиболее интересной частью эксперимента и окончательно укрепляет веру в успех, ибо теперь мы точно знаем, что происходит, когда разрывается катушка. Мы также знаем теперь, как выглядит дуга в 13 000 ампер. Очевидно, тут вообще нет ничего пагубного для аппаратуры и для экспериментатора, если он держится на достаточном расстоянии».

Опыты Капицы предвосхищали будущее — не за горами было то время, когда физики начнут изучать процессы, длительность которых составляет доли секунды. Это потребует совершенно новых средств измерений, но зато позволит подводить в эти мгновения к сталкивающимся ядрам мощность нескольких больших электростанций, вместе взятых! Капица торопился заглянуть в это будущее, и Резерфорду очень нравились его слова: «Одна сотая секунды — это громадное время, если вы знаете, как его использовать».

С 1934 года П. Л. Капица работает на родине. Резерфорд без колебаний согласился продать СССР уникальное оборудование для исследований Капицы. И несмотря на это переходный период был трудным: Капице предстояло создать в Москве совершенно новую научную организацию — Институт физических проблем Академии наук СССР, который станет изучать основные фундаментальные физические явления, будет занят поисками общих закономерностей далеких друг от друга процессов. А ведь найти их можно только исследуя вещество в особых состояниях — в огромной силы магнитных и электрических полях, при сверхнизких температурах и очень высоких давлениях... Работа предстояла неслыханно трудная, и Капице очень помогали письма учителя. Одна мысль особенно часто повторялась в них: «...ваше счастье в будущем зависит от того, как упорно вы будете работать в лаборатории» (письмо Резерфорда Капице от 21 ноября 1935 года).

Спустя три года Петр Леонидович Капица сделал в стенах Института физических проблем в Москве открытие, за которое он впоследствии был удостоен Нобелевской премии по физике.

Чудеса в мире холода

В стремлении достичь физического полюса холода, самой низкой возможной температуры для вещества: $-273,16^{\circ}\text{C}$, ученые уже смогли подобраться почти к самой низине (так и хотелось сказать — вершине!). О низких температурах стали настолько часто писать в научных статьях, что физики решили пользоваться шкалой температур, названной в честь известного исследователя холода лорда Кельвина. В этой шкале нулевая точка отсчета совпадает со значением $-273,16^{\circ}\text{C}$ и отличить кельвины от градусов Цельсия можно по большой букве «К», стоящей после цифры, обозначающей температуру. Естественно, что в шкале Кельвина нет отрицательных температур.

Много остроумных способов придумали исследователи, чтобы заставить охладиться вещество. Большинство из них основано на известном физическом явлении: расширяясь, газ затрачивает много энергии, отнимая тепло у себя и у окружающей среды. Охлаждаемый газ сначала сжимают, затем заставляют проходить через узкую трубку, а потом дают ему возможность резко расшириться. После нескольких циклов «сжатие — расширение» газ превращается в жидкость, особенно если трубки прибора омываются очень холодной жидкостью (как правило, тоже «бывшим» газом — жидким воздухом, кислородом, водородом).

При температуре $4,2\text{ K}$ (около -269°C) «сдался» и газообразный гелий, став самой холодной на свете жидкостью. Исследуя свойства жидкого гелия, П. Л. Капица обнаружил, что при температурах ниже $2,19\text{ K}$ гелий переходит в сверхтекучее состояние: он начинает проходить по узкому капилляру практически без трения. Вязкость сверхтекучего гелия в миллионы раз меньше, чем у обычного жидкого гелия!

Одновременно сверхтекучий гелий оказался и сверхтеплопроводным: при подведении тепла по всему его объему мгновенно устанавливается одна и та же температура. Теплопроводность гелия при температурах ниже $2,19\text{ K}$ в 200 раз выше, чем у меди. Если в такой необычный жидкий гелий опустить прозрачную трубку, заполненную мелким порошком, например толченым кварцем, и сбоку нагревать порошок светом лампы, то гелий, беспрепятственно поднявшись по порошку, начнет бить фонтанчиком на высоту около 30 сантиметров.

Некоторые опыты Петра Леонидовича наводили на мысль, что сверхтекучий гелий в свою очередь состоит из разных жидкостей. Например, если в ванну с жидким гелием опускали вертушку с лепестками, стеклянный сосуд с отверстием внизу и крохотным нагревателем внутри, то при пропускании через нагреватель небольшого электрического тока лепестки начинали вращаться, будто жидкость вытекала из стеклянного сосуда. Но в то же самое время уровень жидкого гелия в сосуде с нагревателем совершенно не изменялся! Чудеса да и только — казалось, будто в сосуде волшебная бесконечная жидкость.

Работавший в Институте физических проблем замечательный фи-

зик-теоретик Лев Давидович Ландау к 1941 году создал законченную теорию явления сверхтекучести. Он доказал, что в холодном жидком гелии есть две составляющие: нормальная и сверхтекучая. Соотношение между ними зависит от температуры, и только при нуле градусов по шкале Кельвина весь гелий становится сверхтекучим. Все эксперименты получили в теории Ландау разумное объяснение: вверх по порошку беспрепятственно поднимается сверхтекучая составляющая жидкого гелия, из стеклянного сосуда выливается при нагревании нормальная часть удивительной жидкости и за счет трения вращает лепестки вертушки, но объем вытекшей жидкости тут же занимает сверхтекучий гелий, и уровень в сосуде сохраняется на прежнем месте.

Новое создают мечтатели

Явлению сверхтекучести повезло — благодаря творческому содружеству П. Л. Капицы и Л. Д. Ландау стали понятны физические законы, лежащие в основе этого удивительного явления Природы.

Сверхпроводимости, открытой голландским физиком Камерлинг-Оннесом еще в 1911 году, пришлось ждать почти полвека, пока ученые в ней окончательно разобрались. В 1957—1960 годах была создана теория, которая верно описала процессы, происходящие как в чистых веществах, так и в сплавах при переходе в условиях очень низких температур в состояние, для которого характерно практически полное исчезновение сопротивления протеканию электрического тока...

Объяснение, выдвинутое учеными в этом случае, оказалось не менее интересным, чем при разгадке явления сверхтекучести: колебания атомов твердого тела при низких температурах, как ни странно, позволяют электронам объединиться в пары. Объединиться, несмотря на одинаковые заряды! Им удастся это сделать с помощью той самой решетки атомов, которая обычно вызывает рассеяние электронов, переход электрической энергии в тепловую, вызывающую бесполезный (а иногда и опасный) нагрев проводов. Электронам, соединенным в пары, гораздо легче «просачиваться» сквозь строй атомов металла. Электронная сверхпроводящая жидкость, возникающая при низких температурах, течет по металлу беспрепятственно.

Камерлинг-Оннес наблюдал за прохождением тока по катушке из проводов в течение суток после выключения источника электроэнергии. Затухания тока не происходило. Опыт был закончен очень эффективно: как только катушку вынули из жидкого гелия, ток в ней мгновенно исчез...

В 1959 году американский физик Коллинз повторил этот эксперимент. Он пропускал электрический ток по сверхпроводящему кольцу два с половиной года и никакого уменьшения тока после этого не отметил!

Явление сверхпроводимости дает возможность для демонстрации большого числа удивительных опытов, многие из которых имеют серьезное практическое применение. В 1945 году профессор МГУ В. К. Аркадьев демонстрировал студентам на лекциях оригинальный опыт: постоянный магнит без всякой механической поддержки ви-

сел в воздухе над сверхпроводящей катушкой, по которой непрерывно тек электрический ток. Магнитные поля катушки и магнита отталкивались и поддерживали довольно тяжелый магнит во взвешенном состоянии. Аркадьев в шутку называл свой опыт «гробом Магомета», ибо тот, по преданию, висел в воздухе.

Сверхпроводящие кабели, способные практически без потерь передавать электроэнергию на громадные расстояния, и компактные, мощные, не требующие постоянной подпитки сверхпроводящие электромагниты можно использовать в электрогенераторах и электродвигателях, а также для магнитной подвески монорельсовых вагонов. Вагон весом в две тонны, в котором находятся сверхпроводящие магниты, «плывет» над металлическим монорельсом на воздушной подушке, используя тот же эффект, что впервые наблюдал и показывал на лекциях В. К. Аркадьев. Создатели магнитной железной дороги считают: поезда будут двигаться по ней со скоростью до 500 километров в час!

С помощью сверхпроводников человечество может получить дополнительно огромное количество электроэнергии, которое сейчас безвозвратно теряется из-за сопротивления обычных металлических проводов, превращаясь в тепло. Но ведь очень неудобно использовать провода, окруженные толстыми цилиндрами, по которым проходит охлаждающая жидкость или газ. И к тому же, охлаждение до столь низких температур — процедура дорогая.

Ученые занялись поисками веществ, переходящих в сверхпроводящее состояние при комнатных (что было бы лучше всего) или хотя бы при не очень низких температурах. Ну, например, при температуре сибирских морозов: -50 или -60 °С. Первым шагом на этом пути было открытие в 1987 году явления высокотемпературной сверхпроводимости: некоторые керамические соединения становятся сверхпроводниками при температурах выше 100 К. Это позволяет использовать для охлаждения не дорогой жидкий гелий, а гораздо более дешевый и доступный жидкий азот, температура ожигения которого составляет -196 °С. Поиски новых высокотемпературных сверхпроводников продолжаются.



ГЛАВА 2

ДВИЖЕНИЕ, ДВИЖЕНИЕ, ДВИЖЕНИЕ...



Я не работал никогда над тем, чтобы усовершенствовать способы ведения войны...

Работая над реактивными приборами, я имел мирные и высокие цели: завоевать Вселенную для блага человечества, завоевать пространство и энергию, испускаемую Солнцем.

К. Э. Циолковский

Открытые великим Ньютоном законы движения тел и закон всемирного тяготения относятся к бесценным победам человеческого разума, их достоинства нельзя выразить в цифрах затрат. Если же все-таки кто-то попытался бы это сделать, то его трудности были бы невероятно велики хотя бы по одной, внешне простой, причине: как, например, оценить вклад предшественников Ньютона? Чем измерить гениальные озарения Галилео Галилея, Николая Коперника, Иоганна Кеплера? Ведь сам Ньютон говорил: «Если я видел дальше других, то потому, что стоял на плечах гигантов».

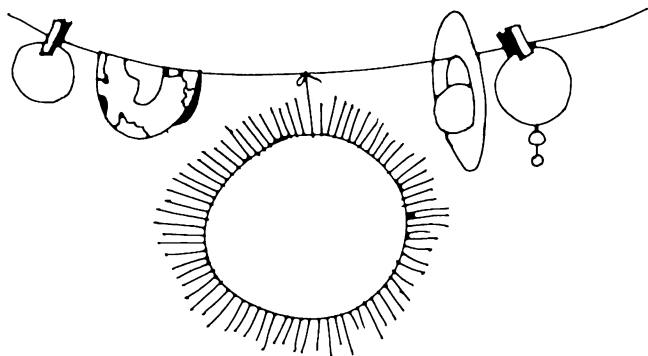
Как трудно планеты менять местами!

Нельзя сейчас назвать тот далекий век или даже тысячелетие, когда человек впервые выделил на небе маленькие звездочки, движение которых среди неподвижных мерцающих огоньков ночного небосклона было видно простым глазом. Звезды-путешественницы (за исключением наиболее яркой и важной для нас — Солнца!) получили название планет. Самое большое после Солнца небесное те-

ло, регулярное перемещение которого на небе отмечал наш далекий предок, — Луна, как выяснилось много позднее, не самостоятельная планета, а спутник нашей Земли.

Известный астроном Клавдий Птолемей, живший в Александрии во II веке нашей эры, опираясь на труды своего предшественника Гиппарха, создал сложную систему движения планет. В центре хоро-вода, конечно, находилась Земля. Около четырнадцати столетий представления Птолемея и Гиппарха царствовали в астрономии. Вероятно, для неверных теорий — это рекорд. Причину столь удивительного долголетия (в данном редком случае мы к этому слову относимся без должного уважения) обычно видят в поддержке церкви, в суевериях людей, с трудом меняющих свои взгляды. И при этом забывают, что система Птолемея — Гиппарха прекрасно удовлетворяла практическим требованиям средневекового человека, достаточно точно предсказывая наступление затмений, появление планет из-за горизонта и все видимые изменения на небосводе. Ведь эта система основывалась на многолетних внимательных наблюдениях! Планетам были приписаны сорок (!) сложных, не зависящих друг от друга круговых движений вокруг Земли. Зная их, можно было с достаточной математической точностью делать астрономические прогнозы.

Когда великий Коперник высказал идею о необходимости поменять местами Землю и Солнце в системе планет, а Луне, как ей и полагается, предложил вращаться вокруг Земли, а не вокруг Солнца, то его ученые-современники далеко не сразу с ним согласились. Да и сам Коперник размышлял почти сорок лет, создавая новую систему движения планет. Он отчетливо сознавал необычайную новизну этой идеи — Земля и человек совсем, оказывается, не центр мироздания. Недаром так осторожны, лаконичны и тщательно подобраны слова в его сочинениях. Осторожны, но тверды: «Центр Земли не является центром мира, но только центром тяготения и центром лунной орбиты»; «Все сферы движутся вокруг Солнца, расположенного как бы в середине всего, так что около Солнца находится центр мира»; «Именно Земля с ближайшими ей стихиями вся вращается в суточном движении вокруг неизменных своих полюсов, причем твердь и самое высшее небо остаются все время неподвижными»;



«Все замечаемые нами у Солнца движения не свойственны ему, но принадлежат Земле и нашей сфере, вместе с которой мы вращаемся вокруг Солнца, как и всякая другая планета; таким образом, Земля имеет несколько движений».

В 1551 году таблицы движения планет, с большой точностью рассчитанные в соответствии с системой Коперника, были опубликованы (через восемь лет после смерти ученого!). Ночью 17 августа 1563 года астроном Тихо Браге заметил, что положения планет Юпитера и Сатурна на небе почти совпадают. Система Птолемея — Гиппарха предсказывала время наступления этого небесного события с ошибкой в месяц, таблицы Коперника повышали точность прогноза до 7 дней! С этого успеха началось признание системы Коперника. В нее поверил Тихо Браге, ее стал уточнять и совершенствовать другой великий астроном, работавший на столетие позже Коперника, — Иоганн Кеплер.

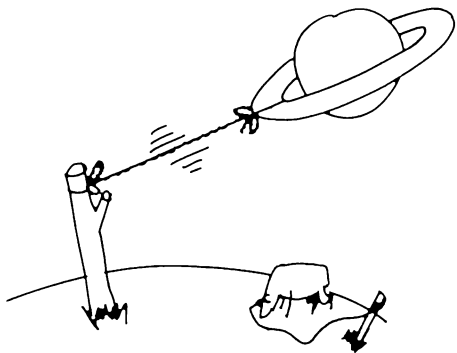
Законы небесные и земные

Удивительно много успел сделать в жизни Иоганн Кеплер, хотя по печальному жребию судьбы он с детства страдал различными болезнями и в том числе множественностью зрения, из-за чего во время наблюдений неба в его глазах возникала, например, не одна Луна, а несколько. Какой силой духа и воли надо обладать, чтобы при этом продолжать напряженно работать. Огромный вклад внес Кеплер не только в астрономию, но и в оптику. Занимался он самыми разными научными проблемами, даже изучал устройство человеческого глаза. После смерти Кеплера в 1630 году осталось одно изношенное платье, две рубашки, несколько медных монет и... 57 вычислительных таблиц, 27 напечатанных научных трудов, огромное рукописное наследие, собранное позже в 22 книгах, и три закона движения планет. Три замечательных закона, точное соответствие которых небесной механике подтвердили тщательные и многочисленные измерения, выполненные многими последующими поколениями ученых.

Восхищенный сторонник системы Коперника, Кеплер тем не менее усмотрел в ней серьезный недостаток: обращение планет вокруг Солнца Коперник считал состоящим из нескольких движений по кругу.

Внимательно анализируя наблюдения Тихо Браге, Кеплер понял, что в действительности орбиты планет представляют собой эллипсы, а не окружности, причем Солнце обязательно находится в одном из фокусов эллипса. Так формулируется первый закон Кеплера. Просто и убедительно!

Если Солнце и одну из планет соединить воображаемой прямой-радиусом, то площади эллипса,



отчеркиваемые радиусом за одинаковые промежутки времени, будут равны между собой. Это второй закон Кеплера.

Третий закон может быть выражен следующими словами: время обращения каждой планеты вокруг Солнца, возведенное в квадрат, пропорционально размеру большой полуоси ее эллиптической орбиты, взятой в кубе.

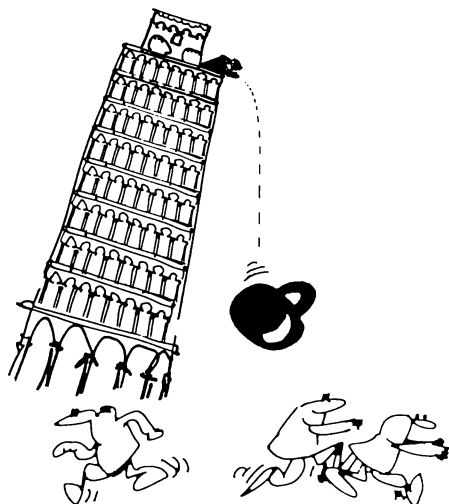
Планеты и Солнце оказались связанными неразрывно. Законы Кеплера позволили точнее предсказывать движение небесных светил, но на вопрос, почему это движение происходит именно так, а не иначе, предстояло ответить Исааку Ньютону. Кеплер, конечно, неустанно размышлял и над природой сил, объединяющих в единую величественную систему огромные массы вещества, заключенные в планетах и Солнце. Он ввел в физику, и в частности в механику, много определений, которыми мы пользуемся до сих пор. Сопротивление движению тел, находящихся в покое, Кеплер обозначил словом «инерция», а силу притяжения между массивными телами — термином «гравитация». «Гравитацию я определяю как силу, — писал Кеплер, — подобную магнетизму — взаимному притяжению. Сила притяжения тем больше, чем тела ближе одно к другому...»

Новый физический прибор — сердце

Всем хорошо знакома по многочисленным картинам и фотографиям стройная башня, расположенная в итальянском городе Пиза. Знакома не только своими пропорциями и изяществом, но и нависшей над ней бедой. Пизанская башня медленно, но заметно отклоняется от вертикали. «Падающая» башня расположена в городе, где родился и выполнил многие научные исследования современник Кеплера великий итальянский ученый Галилео Галилей. В родном городе Галилей стал профессором университета. Профессором математики, хотя занимался он не только математикой, но и оптикой, астрономией, механикой.

Вообразим, что в один из прекрасных летних дней в те далекие годы мы стоим около башни, поднимаем голову и видим на верхней галерее... Галилея. Ученый любит прекрасный вид на город? Нет, он, как шаловливый школьник, бросает вниз разнообразные предметы! Вероятно, наше удивление еще больше возрастет, если кто-нибудь скажет, что мы присутствуем при одном из важнейших физических экспериментов в истории науки.

Аристотель, мыслитель широ-



чайшего кругозора, живший в IV веке до нашей эры, утверждал, что легкое тело падает с высоты медленнее тяжелого. Авторитет ученого был так велик, что это утверждение в течение тысячелетий считалось совершенно верным. Наши повседневные наблюдения к тому же часто, казалось бы, подтверждают мысль Аристотеля — медленно и плавно слетают легкие листья с деревьев в осеннем лесу, тяжело и быстро стучит крупный град по крыше... Но Галилей однажды сказал: «...в науках тысячи авторитетов не стоят одного скромного и верного утверждения». Он усомнился в правоте Аристотеля.

Как будут вести себя два тела — легкое и тяжелое, если их скрепить вместе? Задав этот вопрос, Галилей рассуждал: легкое тело должно замедлять движение тяжелого, но вместе они составляют еще более тяжелое тело и, по Аристотелю, обязаны падать еще быстрее. Где выход из этого логического тупика? Остается предположить, что оба тела должны падать с одинаковой скоростью. На эксперименты заметно влияет воздух — сухой лист дерева медленно опускается на землю благодаря ласковым дуновениям ветра. Опыты надо поставить с телами разного веса, но примерно одинаковой обтекаемой формы, чтобы воздух не вносил в опыт своих «поправок». И Галилей сбрасывает с Пизанской башни в один и тот же момент пушечное ядро массой 80 кг и значительно более легкую мушкетную пулю — массой всего 200 г. Оба тела достигают земли одновременно!

Галилею хотелось изучить поведение тел, когда они двигаются не так быстро. Он смастерил из длинных деревянных брусков прямоугольный желоб с хорошо отполированными стенками, поставил его наклонно и пускал вниз по нему (осторожно, без толчка) тяжелые шары. Хороших часов тогда еще не было, и Галилей судил о времени, которое уходило на каждый опыт, взвешивая воду, вытекшую через тонкую трубку из большой бочки. С помощью таких приборов Галилей установил важную закономерность: пройденное шаром расстояние пропорционально квадрату времени, что подтвердило созревшую у него мысль о возможности движения тела с постоянным ускорением.

Однажды в соборе, наблюдая, как раскачиваются светильники разного размера и длины, Галилей пришел к выводу, что у всех светильников, подвешенных на тросах одинаковой длины, период раскачивания от одной верхней точки до другой и высота подъёмов одинаковы и постоянны — независимо от веса! Как подтвердить необычный и, как выяснилось затем, совершенно верный вывод? С чем сопоставить колебания маятников, где взять эталон времени? И Галилей пришел к решению, которое для многих поколений ученых будет служить образцом блеска и остроумия физической мысли: он сравнил колебания маятника с частотой биения собственного сердца! Лишь триста с лишним лет спустя, в середине XX века, другой великий итальянец — Энрико Ферми — поставит эксперимент, напоминающий достижения Галилея по простоте и точности. Фер-

ми определит силу взрыва первой опытной атомной бомбы по расстоянию, на которое взрывная волна отнесет с его ладони клочки бумаги.

Постоянство колебаний светильников и маятников одинаковой длины было доказано Галилеем, и на основе этого замечательного свойства колеблющихся тел Христиан Гюйгенс в 1657 году создал первые маятниковые часы с регулярным ходом. Всем нам хорошо известны уютные часы с живущей в них «говорящей» кукушкой. Своим рождением они обязаны наблюдательности Галилея, не ослабевавшей даже во время богослужения в соборе.

Спасибо школьной ссоре

Открытые Галилеем закономерности в движении маятников позволили ученым не только изобрести маятниковые часы, но и экспериментально доказать... вращение Земли. Опыт с огромным маятником был поставлен французским инженером Фуко в 1850 году — через 208 лет после ухода из жизни Галилея и через 307 лет после кончины Коперника, впервые предположившего, что Земля вращается не только вокруг Солнца, но и вокруг собственной оси.

В парижском Пантеоне, зале с очень высоким куполом, Фуко подвесил на гибком тросе длиной 67 метров шар массой 28 килограммов. С нижней стороны у шара имелось острие, а на полу Пантеона насыпали полоску из песка. Маятник раскачали, и острие стало прочерчивать узкую бороздку в песке — в одном и том же месте при каждом размахе. Но что это? По мере того как шло время, бороздка в песке поворачивалась по часовой стрелке! На самом деле все, конечно, происходило наоборот: маятник, как ему и положено, все время двигался в одной и той же плоскости, но под ним медленно вращалась вокруг воображаемой оси Земля, делая полный оборот против часовой стрелки за одни сутки. Поворачивалась в обратную сторону и бороздка, наглядно показывая недоверчивым зрителям, что мы летим вокруг Солнца на космическом корабле под названием Земля, похожем на гигантский волчок. Опыт Фуко повторяли много раз в самых высоких зданиях и планетариях разных частей света, в том числе и у нас в стране, например, в Санкт-Петербурге, в Исаакиевском соборе. И все опыты показали вращение Земли под маятником...

Великий Ньютон, родившийся в 1643 году, продолжил другие исследования Галилея, связанные с движением тел и их взаимным притяжением друг к другу. Ньютону было всего 24 года, когда он впервые сформулировал закон всемирного тяготения. Способность одного тела притягивать другое прежде всего определяется его собственной массой, решил Ньютон. Тогда очень легко объясняются опыты Галилея: брошенные им с Пизанской башни легкая пуля и тяжелое ядро падают под действием силы тяготения Земли, масса которой так велика, что все «земные» тела получают под ее влиянием практически одинаковое ускорение свободного падения, равное

9,8 м/с². А каково действие Земли на «внеземные» тела? Оно, видимо, должно ослабевать с расстоянием и зависеть от массы притягиваемого тела.

Сила притяжения любых двух тел, — формулировал Ньютон в законе всемирного тяготения, — прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна расстоянию между телами, возведенному в квадрат. Расстояние необходимо измерять между центрами тел, в частности, если в процессе притяжения участвует Земля, то отсчет надо вести от ее центра, отстоящего от земной поверхности в среднем на глубину 6370 км. Коэффициент пропорциональности, одинаковый для всех тел в Природе, называется гравитационной постоянной.

Для самого Ньютона наиболее важным доводом в пользу закона всемирного тяготения послужило полученное им доказательство, что притяжение Земли действует и на Луну. Расчет показал, что если бы масса Земли была меньшей, чем в действительности, то Луна улетела бы с орбиты в бескрайние просторы Вселенной; при большей массе Земли Луна постепенно тормозилась бы, приближаясь к Земле по спирали, как спускаемый космический аппарат! Ньютон очень строго относился к своим выводам. Сначала, по его расчетам, получилось значение ускорения Луны на 15% меньшее, чем определили астрономы, и Ньютон не стал ничего сообщать о своем открытии. Он опубликовал закон всемирного тяготения только через 16 лет, когда стали известны более строгие опытные данные и расхождение его теории с наблюдениями уменьшилось до 2%. Закон всемирного тяготения позволил с высокой точностью определить орбиты планет Солнечной системы, благодаря ему была строго доказана справедливость законов Кеплера.

Не только небесная, но и земная механика многим обязана гению Ньютона. Он сформулировал три закона движения тел, с помощью которых механики до сих пор рассчитывают самые сложные конструкции, определяют скорость и ускорение многочисленных механизмов и средств транспорта, оценивают прочность конструкций. Приведем эти законы в том виде, в котором сформулировал их автор:

«Всякое тело упорствует в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не принуждается приложенными силами изменить свое состояние».

«Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению прямой, по которой эта сила действует».

«Действию всегда есть равное и противоположное действие, иначе — взаимодействия двух тел друг на друга всегда между собой равны и направлены в противоположные стороны».

Неведомая сила тяготения

Как всегда бывает после установления ранее неизвестных законов Природы, в огромном мире вокруг нас стали обнаруживаться боль-

шие и маленькие явления, которые легко объясняются и предсказываются на основе открытий Ньютона. Современник и друг Ньютона астроном Эдмунд Галлей сразу же применил закон всемирного тяготения для расчета орбиты очень яркой кометы, носящей с тех пор его имя. Комета Галлея, как оказалось, делает полный оборот вокруг Солнца по эллиптической орбите за 76 лет; ее очередное появление в окрестностях Земли наблюдалось в 1986 году. Пользуясь расчетами по формуле Ньютона, астрономы последующих поколений находили новые невидимые спутники планет. Как правило, это происходило после того, как в вычислениях обнаруживалось, что для существования орбиты планеты, наблюдаемой в телескопы, «не хватает» притяжения с какой-либо из сторон. Расчеты позволяли предсказать массу спутника, заставляющего планету отклоняться от той теоретической орбиты, которая у нее была бы, если бы спутника не существовало.

Законы движения тел, сформулированные Ньютоном, показали, как велико в нашей жизни влияние инерции, определяемой прежде всего массой тела, и силы трения, останавливающей в конце концов любое движение. Автомобиль продолжает двигаться по инерции, даже когда выключен двигатель, но через какое-то время прекращает плавное перемещение и встает неподвижно — трение узорчатых шин о шероховатый асфальт заставляет его это сделать. Внезапно тормозит поезд, и мы невольно наклоняемся вперед — наше тело по инерции еще движется. Конькобежец быстро скользит по льду — трение между коньками и льдом очень мало и почти не мешает его движению. При гололедице тротуары и мостовые посыпают песком, чтобы увеличить силу трения и уберечь нас от падений, а автомобили — от столкновений. Опасный аттракцион в цирке — «мертвую петлю» велосипедиста или проезд мотоциклиста по боковым вертикальным стенкам огромной прозрачной круглой «бочки» — легко сделать безопасным, правильно рассчитав по законам Ньютона необходимую скорость и массу велосипеда и мотоцикла. Мы можем раскрутить над головой на длинном шнуре детское ведерко, заполненное до краев водой, — и вода не выльется, прижатая ко дну ведерка силой, которую можно найти, пользуясь законами Ньютона.

Для многих из этих расчетов, особенно тех, что относятся к движениям в «небесах», очень важно знать величину гравитационной постоянной в законе всемирного тяготения. Один из самых точных экспериментов по определению гравитационной постоянной выполнил английский физик Генри Кавендиш. Гравитационную постоянную Кавендиш определил по закручиванию тонкой и прочной нити, к которой было подвешено легкое коромысло с маленькими



грузиками на плечах. Грузики притягивались двумя тяжелыми сферами из свинца массой по 50 килограммов каждая. Прибор был заключен в непроницаемую для воздуха камеру, и наблюдение за движением грузиков велось через оптические зрительные трубы, вставленные в стенки камеры. Опыт Кавендиша можно упростить, подвесив над свинцовым шаром круглую стеклянную колбочку, наполненную ртутью. Колбочка предварительно уравнивается на весах с помощью точных гирь и разновесов. Отклонение весов после сближения колбочки со свинцовым шаром будет очень маленьким, но все же его можно обнаружить. Естественно, что опыты по определению гравитационной постоянной требуют всяческих предосторожностей, исключения любых посторонних влияний. Ведь два шара массой в одну тонну каждый, расположенные на расстоянии одного метра друг от друга, притягиваются с силой всего в 6,67 сотых долей ньютона (ньютон — единица измерения силы, которая массе в 1 кг сообщает ускорение в 1 м/с^2).

Еще сложнее эксперименты по определению гравитационных волн. Большинство ученых считают, что в Природе существуют волны или частицы, переносящие в пространстве энергию притяжения (должна же в чем-то материальном выражаться сила гравитации!), но эти «носители», по расчетам, оказываются так малы, что даже с помощью самой современной техники измерений пока не удастся их обнаружить... Антенны, создаваемые в разных странах мира для приема гравитационных волн из космоса, охлаждаются с помощью гелия до самых низких температур, близких к абсолютному нулю, чтобы перемещение антенн за счет теплового движения частиц не мешало эксперименту. В России для таких опытов создали антенны из массивных кристаллов искусственного сапфира, в США для этого пробуют использовать алюминиевые цилиндры массой 2,6 тонны, надежно изолированные от сейсмических колебаний Земли, вызванных далекими землетрясениями. Будем ждать обнадешивающих вестей от исследователей самой, казалось бы, очевидной и самой неуловимой силы в Природе — силы тяготения.

Лед — верный союзник исследователей теплоты

Благодаря открытиям Коперника, Кеплера, Галилея, Ньютона были установлены основные законы движения небесных и земных тел. Первые этажи величественного здания классической механики были построены уже в XVII — XVIII веках. Если же мы обратимся к внешне более простому, повседневно и постоянно сопровождающему нашу жизнь виду движения — переходу тепла от одного тела к другому и перемещению тепловых потоков в пространстве, то здесь вплоть до середины XIX века царили неверные взгляды. Ученые верили в существование «теплорода», мифического вещества — носителя теплоты. Теплород уходит из тела — оно остывает, теплород соединяется с телом — оно нагревается. Хотя, конечно, находились прозорливые умы, объяснявшие тепловые явления совсем по-другому.

В 1738 году в Страсбурге выходит труд Даниила Бернулли «Гидродинамика»; там можно было прочесть такие слова: «...везде, где возрастает внутреннее движение частиц, теплота повышается». 21—25 января 1745 года на конференции Петербургской академии наук М. В. Ломоносов представляет свою работу под названием «Размышление о причине теплоты и стужи». В ней он пишет, что поскольку «при самом быстром общем движении часто не наблюдается теплоты, а при отсутствии такового движения наблюдается большая теплота, то очевидно, что теплота состоит во внутреннем движении материи».

Предвосхищая представления, существующие в современной науке, Ломоносов фактически вводит понятие абсолютного нуля температур — «наибольшей и последней степени холода», когда полностью прекращается «внутреннее вращательное движение связанной материи», порождающее теплоту. Движение невидимых частиц вызывает появление тепла, а никакой не теплород, существование которого, как он говорит, «...противоречит прежде всего опыту, а затем здравому смыслу».

Крушение теории теплорода, как и предвидел Ломоносов, началось с опыта. Опыта с отрицательным результатом. Как говорится при обосновании математических выводов, с помощью доказательства от противного... 25 января 1798 года, через 53 года после доклада Ломоносова в Петербурге, в Лондонском королевском обществе состоялось заседание, на котором американский ученый Бенджамен Томпсон, больше известный под именем графа Румфорда, доложил результаты своих экспериментов... по сверлению пушечных стволов.

Румфорд работал в арсенале Мюнхена, и все его опыты были сделаны в полевых (так и хочется сказать — боевых) условиях арсенала. Он заметил, что при сверлении пушечных стволов выделялось огромное количество теплоты, особенно если сверло было тупым и плохо резало металл. Тяжелые тупые сверла вращались внутри ствола с помощью лошадей, бежавших по кругу. Чтобы измерить количество выделяющейся теплоты, Румфорд поместил ствол и сверло в огромный ящик с водой. Через два с половиной часа непрерывного вращения тупого сверла внутри ствола (с помощью приводных ремней) вода закипела. «Изумление окружающих, — писал он затем в своей статье, — увидевших, что такая масса воды закипает без огня, было неопишным».

Знаменитый физик и химик Гэмфри Дэви не мог остаться в стороне от споров о теплороде. Эксперимент Дэви был прост и остроумен: он попробовал вращать в разные стороны прижатые друг к другу два бруска... изо льда. Через несколько минут почти весь лед превратился в воду под действием тепла, выделившегося при непрерывном вращении! Дэви решил отвести подозрение в том, что во время опыта теплород воздуха участвовал в таянии льда. Он поместил свою маленькую установку под колпак, из которого выкачал воздух. Куски льда вращались под колпаком и терлись друг о друга

с помощью часового механизма. На прижатых поверхностях ледяных образцов и под колпаком быстро стала выступать вода.

Эксперименты Румфорда и Дэви подготовили почву для формирования истинно научных представлений о природе теплоты, о тепловых явлениях в окружающем нас мире. Это случилось, когда в науку пришел исследователь, сумевший увидеть сквозь частотол разрозненных опытов и наблюдений за движениями тепловых потоков глубокие общие закономерности. Еще древнегреческий философ Платон говорил: «Лошадь увидеть всякий глупец сумеет, а вот увидеть лошадинность — талант, который дается немногим». Создать общую теорию из единичных фактов, заложить основы области физики, получившей впоследствии название «термодинамика», сумел молодой французский ученый Сади Карно.

Карно окончил Политехническую школу и в 1824 году в возрасте 28 лет опубликовал труд, который в русском переводе занимает 44 страницы машинописного текста. Это была единственная работа Карно, увидевшая свет при его жизни. Труд называется длинно, но просто (по сравнению с наименованиями статей в современных физических журналах): «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу». Не следует забывать, что в первой половине XIX века борьба с теорией теплорода еще не была закончена, и Сади Карно в опубликованной работе пользуется этим термином, хотя впоследствии он безоговорочно присоединился к тем, кто объяснял возникновение тепла движением частиц внутри тел и рассматривал теплоту как особый вид движения. В то время инженеры уже широко использовали сложные механические машины, превращавшие тепловую энергию паровых котлов в механические перемещения поршней или колес, а физики не могли сказать, при каких условиях может быть достигнута самая высокая эффективность тепловых машин, как подсчитать необходимый расход топлива или коэффициент полезного действия (КПД) таких устройств. Успешно работают паровые машины, сконструированные русским механиком И. И. Ползуновым, англичанами Томасом Ньюкоменом и Джеймсом Уаттом, но остается неизвестным, почему их КПД составляет всего 2—3%. Только после работы Карно на эти вопросы были получены четкие ответы.

Движение, изменившее свой вид

Предоставим слово самому Карно: «...недостаточно создать теплоту, чтобы вызвать появление движущей силы, нужно еще добыть холод; без него теплота была бы бесполезна... повсюду, где существует разность температур... возможно появление движущей силы.водяной пар — еще одно из средств обнаруживать эту силу, но не единственное: все тела природы могут быть применены для этого; все тела способны к изменению объема, к сжатию и расширению при действии тепла и холода; все способны при изменении своего объема побеждать некоторое сопротивление и таким образом разви-

вать движущую силу... Обратно, повсюду, где нужно затратить эту силу, возможно образовать разность температур...»

Карно описал цикл работы идеальной тепловой машины, показал, как можно рассчитать ее максимальный КПД. Для этого необходимо лишь знать самую высокую и самую низкую температуру водяного пара (или любого другого теплоносителя, как отметил Карно), используемого в данной машине. Разность между этими температурами, деленная на значение высокой температуры, равна (после умножения, конечно, полученного числа на 100%) КПД машины. Температуры при этом необходимо выражать в кельвинах. Интересно отметить, что КПД, как следует из формулы Карно, совершенно не зависит от того, какое вещество используется в качестве теплоносителя. Расчет по формуле Карно показал, что

первые тепловые машины не могли иметь КПД выше 7—8%, а если учесть неизбежные утечки тепла в атмосферу, то значение 2—3% следует признать значительным достижением. Инженеры теперь знали, что тепловая машина будет работать тем лучше, чем выше температура теплоносителя, который в ней используется, и чем ниже температура холодильника, где пар конденсируется, вновь превращаясь в жидкость.

Работа Карно позволяет оценить тот верхний предел, который конструкторы тепловых машин не могут «перепрыгнуть», как бы они ни старались. Особенно важной оказалась эта возможность, когда на смену поршневым машинам пришли паровые турбины, где теплоноситель, попадая на лопасти, вращал вал двигателя, — энергия пара превращалась в механическое движение. Довольно быстро наряду с паром, как и предсказывал Карно, в турбинах стали использовать и газ, который можно нагреть до высокой температуры. Если температура горячего газа в турбине 800 К (527 °С!), а холодильник уменьшает ее до 300 К (27 °С), то максимальный КПД машины, даже в случае работы по циклу Карно, не может быть выше 62%. Неизбежные тепловые потери приводят к уменьшению и этой цифры. У лучших образцов турбин, установленных на современных электростанциях, КПД составляет 35—40%.

Сади Карно ушел из жизни, заболев холерой в 1832 году, в возрасте 36 лет. Ипполит Карно, младший брат Сади Карно, сохранил свое имя в истории науки тем, что бережно собрал и издал после безвременной смерти своего брата его неопубликованные научные



записи, черновики, заметки. Вчитываясь в эти заметки, ученые поняли, что Сади Карно сделал гораздо больше, чем это следует из «Размышлений о движущей силе огня...». Здесь, вероятно, опять лучше всего привести хотя бы один отрывок из заметок Карно: «Тепло — не что иное, как движущая сила или, вернее, движение, изменившее свой вид; это движение частиц тел; повсюду, где происходит уничтожение движущей силы, возникает теплота в количестве, точно пропорциональном количеству исчезнувшей движущей силы. Обратно: всегда при исчезновении тепла возникает движущая сила.

Таким образом, можно высказать общее положение: движущая сила существует в природе в неизменном количестве; она, собственно говоря, никогда не создается, никогда не уничтожается; в действительности она меняет форму, то есть вызывает то один род движения, то другой, но никогда не исчезает. По некоторым представлениям, которые сложились у меня относительно теории тепла, создание единицы силы требует затраты 2,7 единицы тепла».

По поводу этих строк Анри Пуанкаре записал в 1892 году: «Можно ли яснее и точнее высказать закон сохранения энергии?»

В 1842 году Роберт Майер в письме к своему другу Бауру сообщает полученные им результаты расчетов количества тепла, необходимого для образования единицы движущей силы, практически совпавшие с цифрами, приводимыми в заметках Карно. С 1841 по 1850 год английский физик Джеймс Джоуль ставит разнообразные эксперименты по превращению механической работы в теплоту. Джоуль продавливал воду через тонкие трубки, сжимал воздух насосом, вращал лопатки мешалки в сосуде, наполненном ртутью. В каждом из опытов он измерял затраченную механическую работу, температуру и количество теплоты, переданной при этом теплоносителю (воде, воздуху, ртути), чтобы определить, какое количество работы необходимо затратить в среднем на передачу телу одной калории тепла. (Заметим, что одна калория обозначает собой количество теплоты, необходимое для того, чтобы нагреть один грамм воды на один градус Цельсия.) В знак заслуг Джоуля перед наукой была введена единица работы под названием «джоуль» (обозначает работу силы в один ньютон, перемещающей тело на один метр). Механический эквивалент теплоты, измеренный в джоулях на калорию, выражается числом 4,19.

Всегда ли справедлив закон?

Часто кажется, что связь физики с медициной и биологией — отличительная примета современной науки. Однако взаимопроникновение наук началось значительно раньше. Например, Роберт Майер впервые стал думать о тепловых явлениях, когда наблюдал в тропиках цвет... крови людей. Он обратил внимание, что кровь в венах жителей южных стран и его пациентов в Германии имеет разную интенсивность окраски. Он связал это с различием температуры и давления в окружающей среде, от которых зависит растворимость га-

зов в крови, а также количество энергии, необходимое для поддержания постоянной температуры тела и усилий на мускульные движения.

Гельмгольц, выдающийся и разносторонний ученый, изучал физические основы зрения и слуха человека, природу мышечных сокращений. И именно ему принадлежит честь, используя выводы Карно, Майера, Джоуля, облечь в окончательную форму закон сохранения и превращения энергии, который считается в настоящее время первым началом термодинамики. Энергия в природе не возникает из ничего и не исчезает: количество энергии вечно и неизменно. Она только переходит из одной формы в другую — гласит этот закон.

В середине XIX века было сформулировано и второе начало (второй закон) термодинамики, согласно которому изолированная от внешней среды физическая система всегда стремится к равновесному состоянию, где для нее обеспечено положение, как сложно говорят физики, «максимальной неупорядоченности». Следствие второго закона — происходящий в Природе переход теплоты от более нагретого тела к менее нагретому, но не в обратном направлении. Второй закон указывает, что взаимное превращение теплоты и работы неравноценно: работу можно полностью превратить в теплоту, а теплоту полностью превратить в работу нельзя. Второй закон термодинамики нашел свое математическое обоснование в работах Л. Больцмана, Дж. Максвелла, Дж. Гиббса. Опираясь на представление о том, что все тела состоят из постоянно и хаотично движущихся атомов и молекул, эти знаменитые ученые строго и точно описали распределение частиц в идеальных газах, нашли уравнения, пользуясь которыми можно предсказать поведение частиц при изменении давления или температуры, что оказалось чрезвычайно полезным не только для доказательства справедливости второго начала термодинамики, но и для других областей физики.

Второе начало термодинамики так верно суммировало явления, происходящие в Природе и в технических устройствах, что один из крупнейших термодинамиков прошлого века Клаузиус даже решил из себя, опираясь на него, сделать вывод о предстоящей «тепловой смерти» Вселенной. Согласно второму закону, все процессы в Природе идут в одну сторону: к увеличению беспорядка, и при полном беспорядке наступит «всеобщая смерть» — всякое движение прекратится. Этот грустный прогноз вызвал бурю возражений. Людвиг Больцман выдвинул «спасительную» теорию, что Вселенную необходимо рассматривать в целом, поскольку процессы, происходящие в различных удаленных ее частях, текут независимо друг от друга, а иногда и в разных направлениях. В одной части может происходить угасание, а в другой — всплеск, выделение энергии!

Против теории «тепловой смерти» выступил и автор третьего начала термодинамики — Вальтер Нернст. Из третьего начала следует, что никогда, ни при каких условиях не может быть достигнут абсо-

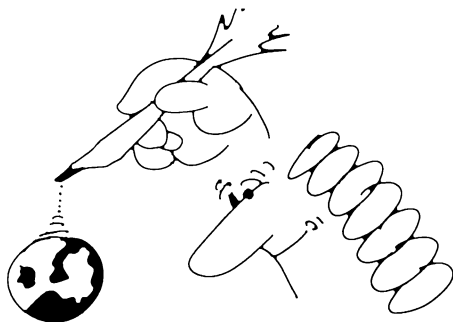
лютный нуль температур, хотя, конечно, сколь угодно близкое приближение к нему теоретически допустимо. Нернст писал: «...нашему взору мир не может уже представиться хотя бы и в весьма далеком будущем в виде мрачного кладбища; мы имеем перед собой вечное возникновение и исчезновение ярких звезд».

Строгий анализ показывает, что второе начало термодинамики нельзя распространять на любые явления. Оно ведь выведено для изолированных систем. Вселенную нельзя считать изолированной системой, ибо, по определению, изолированная система не обменивается со своим окружением ни веществом, ни энергией. За последние десять-двадцать лет физики обнаружили в бездонных глубинах Вселенной необычные звезды и звездные скопления, в которых сила тяготения так велика, что оказываются вполне реальными как процессы, идущие от беспорядка к порядку, так и наоборот. Мысли противников теории «тепловой смерти» получили серьезное экспериментальное подтверждение. Мы можем этому только порадоваться — ведь речь идет в конце концов о судьбе наших потомков!

Планета, увиденная впервые... на бумаге

Успехи науки не только увеличивают знания человечества, они неизбежно порождают, к сожалению, и... ученых-догматиков, людей, владеющих некоторой суммой научных сведений, но неспособных к какому-либо творчеству. Размышляя об этом, полезно вспомнить слова, написанные еще в Древнем Риме философом Сенекой в письме к другу: «Знаете ли, почему он кажется вам таким высоким? Вас обманывает высота его каблуков». «Каблуки» в данном случае «сделаны» из застывших научных истин.

Мудрый французский писатель Монтень в своих «Опытах», опубликованных во второй половине XVI века, когда только закладывалось здание современной науки (труды Кеплера и Галилея появятся еще через несколько десятков лет!), с печалью заметил: «Есть все основания утверждать, что невежество бывает двоякого рода: одно, безграмотное, предшествует науке; другое, чванное, следует за нею. Этот второй род невежества так же создается и порождается наукой, как первый разрушается и уничтожается ею».



В любой области науки, в том числе в физике и астрономии, можно найти множество примеров, подтверждающих эту мысль. Расскажем немного подробнее и обстоятельнее об открытии, имеющем прямое отношение к движению, причем к движению не простому, а космическому. Речь пойдет об открытии планеты Нептун.

Поздно вечером 13 марта 1781 года английский ученый Вильям Гершель, один из самых известных исследователей в истории астрономии и оптики, увидел в телескоп собственной конструкции на участке неба между созвездиями Тельца и Близнецов маленький светящийся кружочек. Ночью 15 марта Гершель убедился, что наблюдаемый им кружочек перемещается относительно окружающих его неподвижных звезд. Так была открыта новая, находящаяся за Сатурном планета Солнечной системы, получившая название Уран. Петербургский академик Андрей Иванович Лексель вскоре после сообщения Гершеля вычислил приближенно орбиту Урана. Почти правильный круг описывает Уран при своем движении вокруг Солнца на расстоянии, более чем в 19 раз превышающем радиус орбиты Земли, равный, как известно, 149,6 миллиона километров!

Во многих обсерваториях мира начались тщательные наблюдения за движением Урана. Используя законы Ньютона и учитывая притяжение открытых к тому времени планет, астрономы уточнили орбиту Урана и уже к середине первой половины XIX века окончательно убедились в том, что видимая орбита новой планеты и расчетная с каждым годом наблюдений... все больше расходятся. Наиболее проницательные ученые высказали смелое предположение, что на движение Урана оказывает сильное влияние расположенная за ним и еще неизвестная науке довольно большая планета.

Урбен Леверье во Франции и Джон Адамс в Англии сумели математически точно определить положение и размеры неизвестной планеты, «возмущающей» орбиту Урана. Джон Адамс представил результаты своих расчетов Джорджу Эри, занимавшему с 1836 по 1881 год пост директора Гринвичской обсерватории и носившему высокий титул королевского астронома. К Эри обратился также и Леверье с просьбой организовать поиски новой планеты. «Если я могу надеяться, — писал он в своем письме, — что Вы достаточно доверяете моей работе, чтобы начать поиски планеты на небе, то я поспешу прислать Вам ее точные координаты, как только их вычислю». Эри отказался дать поручение астрономам Гринвичской обсерватории начать такие наблюдения. Предлогом послужила предполагаемая через полтора (!) месяца поездка Эри на континент. «Близкий отъезд в Европу, — «дипломатично» пишет Эри в своем ответе французскому астроному, — не позволяет тревожить месье Леверье просьбой о более точных числах».

Истинная причина отказа Эри, конечно, состояла в его неверии в необычную гипотезу. Эри предпочитал считать, что расхождения между теоретической и наблюдаемой орбитами Урана вызваны тем, что на столь далеких от Солнца расстояниях закон всемирного тяготения Ньютона должен быть... неверным. Леверье оказался настойчивее

Адамса. 23 сентября 1846 года, получив письмо от Леверье с точными координатами новой планеты, молодой сотрудник Берлинской обсерватории Иоганн Галле вместе со студентом-помощником Генрихом Д'Аррестом начали наблюдения и в ту же ночь обнаружили новую планету практически в том самом месте неба, которое указал Леверье!

Отметим любопытную деталь: Леверье на этот раз не обратился к начальству — директору Берлинской обсерватории Иоганну Энке, не без оснований полагая, что его взгляды во многом совпадают с «удобными» представлениями его английского коллеги. К тому же для Энке, как и для Эри, важнее всего было строгое выполнение графика исследований, составленного на несколько лет вперед... Это, правда, не помешало Энке направить Леверье 28 сентября 1846 года поздравительное письмо, в котором есть такие слова: «Ваше имя отныне будет связано с наиболее выдающимся из мыслимых доказательств справедливости закона всемирного тяготения. Эти немногие слова суммируют, я думаю, все, что хотел бы услышать ученый».

Поздравления приходили к Леверье, Галле и Д'Арресту с разных концов света. Через несколько лет научный мир воздал должное и Джону Адамсу. Леверье предложил назвать планету Нептун, но затем передумал и стал настаивать на том, чтобы планета носила наименование... Леверье. Огромную роль, оказывается, в работе выдающегося астронома играла жажда славы! Планета, расположенная за Ураном, все же получила спокойное имя Нептун. Планета, родившаяся на звездных картах в столкновении научных взглядов, в противоречиях между уютным, неторопливым порядком заранее запланированных наблюдений и лихорадочными поисками исследователей, поверивших в новую идею, в борьбе и единстве честолюбия ученых и их безграничного стремления к истине...

В экспериментах участвует Вселенная

Небесная механика неизменно подтверждает законы земной механики, выведенные Ньютоном. Движение небесных тел, как выяснилось еще во времена Ньютона, позволяет не только проверить закон всемирного тяготения, но и дает в руки исследователей прекрасный способ определения скорости света.

В сентябре 1676 года молодой датчанин Олаф Рёмер, работавший в Парижской обсерватории, представил Французской академии наук доклад, в котором описал, как, пользуясь вращением Земли вокруг Солнца, можно определить скорость света. Рёмер в своих исследованиях наблюдал перемещение одного из спутников Юпитера. Время полного оборота спутника вокруг планеты было строго постоянным и хорошо известным астрономам. Рёмер заметил: если Земля при своем вращении вокруг Солнца находится в наиболее удаленной от Юпитера точке орбиты, то вхождение спутника в тень Юпитера астрономы наблюдают на 22 минуты позже, чем в тот момент, когда Земля находится к Юпитеру ближе всего. Рёмер догадался о причине странного явления — свету нужно 22 минуты, чтобы преодолеть расстоя-

ние от ближайшей к Юпитеру до наиболее далекой от него точки орбиты Земли. Зная время, которое тратит на это свет, и вычислив диаметр орбиты Земли, мы легко можем определить скорость света!

Вероятно, это был один из первых в истории науки случаев, когда ученый пользовался Вселенной как гигантской естественной лабораторией. Рёмер получил значение скорости света, которое раза в полтора меньше известного нам сегодня. Но вряд ли можно его упрекнуть за это: мы же знаем, какими приборами измерял время его великий современник Галилео Галилей. Астрономический способ измерения скорости света широко использовался физиками в течение трех веков, прошедших после наблюдений и расчетов Рёмера. Сейчас общепринятым считается значение скорости света в вакууме, равное 299,79 тысячи километров в секунду.

В XIX веке научились определять скорость света на Земле. Высокого совершенства достиг в этих экспериментах американский физик Альберт Майкельсон. Его сложный массивный прибор со множеством зеркал, удлинявших путь света, был размещен на каменной плите площадью 1,5 м² и толщиной 30 см. Чтобы избежать малейших возможных сотрясений прибора, подставка для плиты была заполнена ртутью.

Майкельсон установил, что скорость света не зависит от направления луча и на распространение света не влияет вращение Земли. Искключительная тщательность опытов Майкельсона, достигнутая в начале XX века высокая точность в определении истинного значения скорости света, быть может, и натолкнула Альберта Эйнштейна на мысль считать скорость света в вакууме самой высокой скоростью, которая возможна в Природе. Эта мысль составляет один из важнейших постулатов созданной Эйнштейном теории относительности — наиболее общей современной теории движения, в которую законы Ньютона вошли как частный случай.

Мир световых скоростей

Создатель теории относительности был очень скромным и благородным человеком. Вероятно, именно поэтому так хочется вслушаться в те немногие слова, которыми он пытался описать свои первые шаги в науке: «...я скоро научился выискивать то, что может повести в глубину, и отбрасывать все то, что перегружает ум и отвлекает от существенного». И тут же шутил: «Нормальный взрослый человек едва ли станет размышлять о проблемах пространства — времени. Он полагает, что разобрался в этом еще



в детстве. Я же, напротив, развивался интеллектуально так медленно, что, только став взрослым, начал раздумывать о пространстве и времени. Понятно, что я вникал в эти проблемы глубже, чем люди, нормально развивающиеся в детстве».

Теория относительности получила свое название из-за следующего ее утверждения: длина и масса тела, а также продолжительность события не абсолютны, они зависят от скорости движения наблюдаемых предметов относительно наблюдателя. В формулах теории относительности для массы, длины и времени имеется слагаемое, в котором основную роль играет отношение квадрата скорости тела к квадрату скорости света в вакууме. Если тело движется медленно и его скорость не сравнима со скоростью света, то это слагаемое становится пренебрежимо малым и длина, масса, время приобретают свои обычные, знакомые нам значения. Для таких тел совершенно справедливы выводы классической механики, механики Ньютона.

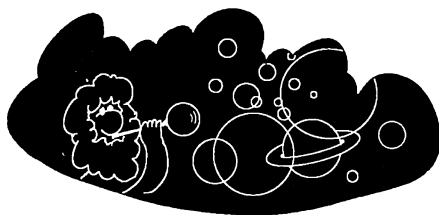
Даже скорости космических аппаратов (около 11 км/с) так далеки от скорости света, что их движение можно вполне рассчитывать по обычным классическим формулам. Лишь в особых условиях, когда скорость тела приближается к скорости света, начинают проявляться эффекты теории относительности. Практически их можно наблюдать в двух внешне совершенно различных мирах: в бесконечно далеких от нас просторах Вселенной, где находятся звезды других галактик, убегающих от «центра мироздания» со скоростью, близкой к скорости света, и в... крохотном, но энергичном царстве мельчайших частиц материи, например электронов и протонов, разогнанных в современных ускорителях тоже почти до световых скоростей.

Для таких тел, очень быстродвигающихся, теория относительности предсказывает сокращение длины, замедление времени и возрастание массы. Цвет далеких раскаленных звезд, удаляющихся от нас, должен, как предсказывал Эйнштейн, изменяться в зависимости от скорости определенным образом: например, из голубоватого становиться красным. Путь светового луча, пролетающего около массивного тела, такого, как Солнце, будет в поле его тяготения немного искривляться. И все эти странные для нашего привычного, обыденного мира явления физики смогли зарегистрировать, подтвердив тем самым справедливость теории относительности.

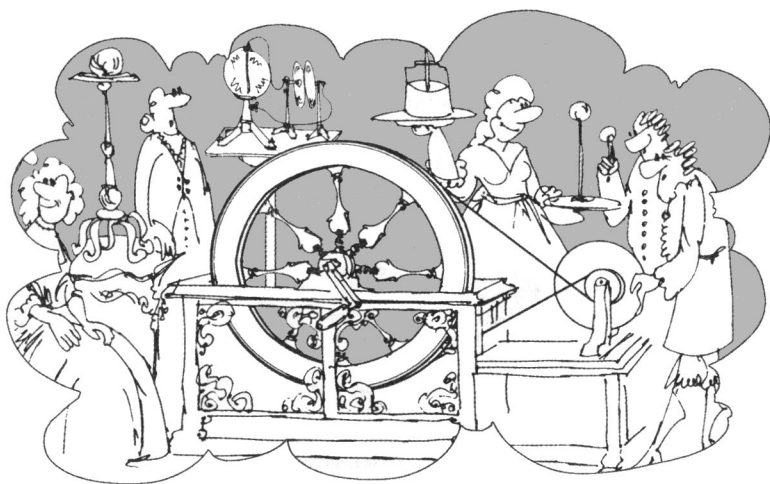
В теории относительности имеется знаменитая формула, показывающая, что энергия, заключенная в теле, и его масса неразрывно связаны. Энергия тела равна его массе, умноженной на квадрат скорости света. Вот и все, удивительно просто и лаконично, но мы теперь можем легко оценить, какие огромные запасы энергии таятся в любом веществе. Масса тела, как нам известно, зависит от его скорости, и, следовательно, от скорости будут зависеть энергетические запасы тела. Как всякая истинно новаторская и глубокая теория, теория относительности совершенно меняет существовавшие ранее представления о времени и пространстве, объединяет их, лишает абсолютного смысла, убедительно доказывает относительность таких, каза-

лось бы, незыблемых свойств материи, как масса и геометрические размеры. Теория относительности — дальнейшее обобщение, развитие физических законов движения. Она не отменяет, а включает в себя как необходимую составную часть всю классическую механику.

Мишель Монтень однажды написал о древнегреческом философе Сократе: «У Сократа как-то спросили, откуда он родом. Он не ответил: «Из Афин», а сказал: «Из Вселенной». Этот мудрец, мысль которого отличалась такой широтой и богатством, смотрел на Вселенную как на свой родной город, отдавая свои знания, себя самого, свою любовь всему человечеству, — не так, как мы, замечающие лишь то, что у нас под ногами...» Эти прекрасные слова можно полностью отнести и к Эйнштейну.



ВСЕПОБЕЖДАЮЩАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИЛА



Всякое творчество, как в науке, так и в искусстве, рождается у человека из чувства неудовлетворенности действительностью. Ученый недоволен существующей теорией и уровнем знания в его области науки...

П. Л. Капица

Сто восемьдесят королевских гвардейцев в парадных мундирах в Версале в присутствии его величества короля Франции берутся за руки и образуют большой круг. Как это ни удивительно, но мы присутствуем при одном из публичных опытов с электричеством, столь модных во второй половине XVIII в.

В середине XVIII в. была случайно открыта так называемая лейденская банка, вероятно, первый в мире конденсатор, накопитель больших количеств электричества. Петер Мушенброк, профессор математики из Лейдена, обнаружил, что в стеклянной банке с остатками ртути и вставленным через пробку длинным гвоздем «пойманное» электричество может сохраняться довольно долго. Банку иногда укутывали металлической фольгой — гвоздь и фольга служили обкладками конденсатора, стекло их разделяло и хранило заряды на обкладках.

Зарядить лейденскую банку электричеством можно было с помощью особой «электрической машины» Герики, представлявшей собой шар из серы, насаженный на железную ось. Шар быстро вращали, прикосновение к нему руки или ременной передачи приво-

дило к возникновению, как мы теперь говорим, электростатических зарядов. Железную ось машины Герике и гвоздь, воткнутый в лейденскую банку, легко соединить металлическим проводом — и в банке накопится достаточно много электричества, которое можно к тому же носить с собой.

Электрическая цепь из ста восьмидесяти гвардейцев по команде «замыкалась» через лейденскую банку: на одном конце цепи первый из них дотрагивался рукой до металлической фольги, в которую была завернута банка, а на другом конце последний в цепи прикасался к гвоздю, торчавшему из пробки. Сильный электрический удар мгновенно чувствовали все участники опыта! «Было курьезно видеть, — писал очевидец этого опыта, — разнообразие жестов и слышать вскрики, исторгаемые неожиданностью у большей части получающих удар».

Не случайно все происходившее названо «опытом». То был, несомненно, научный опыт, доказавший без ведома и желания участников не только достаточно высокую проводимость человеческого тела по отношению к электрическому току, но и один из законов электрических цепей, который будет установлен в лаборатории век спустя: при последовательном соединении большого числа проводников электричества во всей цепи течет электрический ток одинаковой силы.

Электричество спускается с неба

В античной Греции философ Фалес, натирая меховой шкуркой янтарь, кусочек окаменевшей смолы хвойных деревьев, с удивлением наблюдал, что он после этого начинал притягивать к себе перья птиц, пух, сухие листья. Через несколько тысячелетий ученые станут называть элементарную частицу, несущую единичный электрический заряд, греческим словом «электрон», означающим в переводе «янтарь».

В V веке до нашей эры вблизи древнего города Магнезия, расположенного на территории современной Турции, часто находили удивительные «путеводные» камни. Подвешенные на длинных нитях, эти обычно продолговатые камни (мы теперь понимаем, что то были кусочки магнитной руды) всегда указывали одно и то же направление.

Много свидетельств оставили нам древние историки о наблюдавшихся ночью в горах или на мачтах кораблей в океане переливающихся холодных огнях. Их видел на копьях солдат во время ночного похода через горы достаточно внимательный свидетель — древнеримский полководец Юлий Цезарь. О них вспоминали знаменитые мореплаватели Колумб и Магеллан. Похожие огни «плясали» на высоком шпиле церкви святого Эльма в одном из городов Франции.

Начиная научные исследования электричества, ученые довольно быстро поняли, что все эти таинственные огни вызваны атмосферным электричеством. Облака во время грозы — плавающие в воздухе обкладки огромных электрических конденсаторов. Ослепительная молния, возникающая при слишком тесном сближении природных

накопителей электрических зарядов, наглядно показывает, как много электричества может быть в небе у нас над головой.

Конечно, сейчас, зная строение вещества, легко объяснить, как образуются в воздухе электрические заряды. Ультрафиолетовые лучи Солнца обладают достаточной энергией, чтобы оторвать от молекул и атомов некоторых газов, составляющих воздух, свободные электроны. В высоких слоях атмосферы образуется смесь электронов и положительно заряженных ионов — остатков молекул и атомов, лишившихся некоторых из своих валентных электронов. Смесь эта получила название разреженной плазмы. Частицы пыли, туман, грозовые облака и тучи неизбежно привлекают к себе заряженные частицы. Особенно быстро притягиваются легкие электроны. А с «начиненного» электричеством облака заряды при любом удобном случае стекают на другие предметы: ночью в неподвижном воздухе они вызывают легкое свечение на копьях воинов, мачтах кораблей и шпилях церквей; во время шторма или бури заряды «срываются» с облаков громко, с шумной яростью — возникает грозовой разряд, или молния, которая может вызвать пожары, разрушить дома, испепелить деревья.

Перед исследователями электричества открылись три заманчивые дороги: изучать атмосферное электричество, понять, как проходит электрический ток через живой организм, и простой, менее романтичный, но зато более определенный путь экспериментов в лаборатории. Изучение грозного атмосферного электричества требовало, конечно, отчаянной смелости, особенно в XVIII столетии, когда не существовало ни измерительных приборов, ни надежной изоляции для проводов, ни представления о том, как сделать электрический ток безопасным!

Пытаясь зарядить «небесным» электричеством во время грозы лейденскую банку, погиб верный помощник Ломоносова — Рихман. Сам Михаил Васильевич во время этих опытов тоже не раз подвергался смертельной опасности. Но новое влекло неудержимо. Недаром Ломоносов записывал в дневнике: «Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рожденных только воображением». И планировал все новые и новые эксперименты по изучению действия электрической силы: «Будет ли наэлектризованное олово плавиться при меньшей степени огня?»; «Каков будет цвет электрических искр и пламень, вызванный в растворах солей и в соляных жидкостях?»; «Наблюдать, способствует ли электрическая сила кристаллизации или мешает»; «Ускоряет ли осаждение электрическая сила?».

Как мы видим, задолго до изобретения компактных и удобных источников электрического тока — гальванических, или, иначе, электрохимических батарей — родоначальник отечественной науки намечал опыты по осаждению одних материалов на другие с помощью электрического тока! Ломоносов предвосхитил метод электроосаждения, или, как его еще называют, гальванопластики, который изобретет почти через сто лет российский академик Борис Семенович Якоби.

На другом конце земного шара, в Америке, в те же годы XVIII в. работал ученый, столь же разносторонний, как Ломоносов, — Бенд-

жамен Франклин. Русский и американский исследователи не были знакомы друг с другом, но их роднило многое. Оба, например, писали остроумные стихи, увлекались искусством и примерно в одно и то же время занялись изучением атмосферного электричества. К счастью, очень рискованные опыты Франклина окончились благополучно для него. Ведь он даже решил вызвать молнию на себя, запустив во время грозы высоко в небо воздушного змея, которого держал на влажной бечевке. «Вода проводит электричество, и если молния имеет электрическую природу, то она спустится, — подумал Франклин, — по мокрой веревке, как по металлическому проводу». И молния действительно послушно ударила в землю рядом с Франклином!

Скальпель, соединенный с... молнией

Ученые получили в свое распоряжение могучий источник электричества, но очень громоздкий и опасный — молнию. Тем не менее даже с помощью таких неудобных приборов и источников энергии, как вращающийся круг из серы, лейденская банка и молния, им удалось сделать еще один серьезный шаг в изучении новых явлений. И сделал его ученый, избравший своей специальностью совсем другую область науки — анатомию.

Мы редко задумываемся над тем, что первые и наиболее важные открытия в любой области знания совершают специалисты других разделов науки. Ведь не могут существовать, например, инженеры-электрики, когда еще неизвестно, что такое электричество... Может быть, такая закономерность не только естественна при зарождении новой ветви на древе знания, но и полезна для его постоянного роста?

Луиджи Гальвани возглавил кафедру анатомии в Болонье в 1759 г., когда ему было всего 22 года, и долгие годы спокойно и вдумчиво исследовал костный скелет птиц. Лишь через 12 лет он начал интересоваться электрическими явлениями и только в 1790 г., когда ему исполнилось 53 года, сделал свое удивительное наблюдение, благодаря которому его имя сохранилось в истории науки. Рассказывают, что открытие Гальвани — целая цепь случайностей: заболевшей же-



не ученого прописали целительный бульон из лягушачьих лапок, он сам готовил этот бульон, чистил только что пойманную лягушку и однажды прикоснулся скальпелем к ее обнаженному нерву.

Все, что было до этого знаменательного момента, видимо, навсегда останется тайной, ибо именно с него начинается Гальвани, как выразился бы современный ученый, экспериментальную часть своей статьи «Об электрических силах при мускульных движениях», опубликованной в 1791 г.: «Когда одно из лиц, помогавших мне, случайно чуть-чуть коснулось концом скальпеля внутреннего бедренного нерва лягушки, то мышцы конечностей вдруг сократились как будто от сильной судороги».

Гальвани не останавливается на этом и соединяет скальпель с «электрической машиной»: сокращения мышц многократно увеличиваются. Впечатление такое, что лягушка ожила! Вскоре у него появятся тысячи подражателей и последователей, жаждавших убедиться собственными глазами, как лягушка «оживает» под действием электрического тока.

Гальвани ведет свои опыты с электричеством так же методично и последовательно, как до сих пор — чисто анатомические исследования. Ученый решает заменить «электрическую машину» более мощным источником электричества — молнией. Рисунок, приведенный в его статье, позволяет ясно представить себе этот оригинальный эксперимент: одна проволока, обвивающая мышцу лягушки, тянется в колодец, другая, соединенная с нервом задней лапки, закинута на крышу. Атмосферное электричество должно пройти через лягушку и уйти в землю.

«Как только появлялись молнии, — пишет Гальвани в своей статье, — тотчас же мышцы приходили в сильные сокращения, которые совпадали по времени с молнией и предшествовали грому... Мы пришли к мысли о присущем животным электричестве», — делает вывод ученый.

Да, не случайно подпрыгивали королевские гвардейцы, не зря сокращались мышцы лягушки, не напрасно быстро отнимали руку от лейденской банки первые исследователи, не только от испуга пальцы руки, случайно коснувшись обнаженных концов провода городской электросети в современной квартире, «отпрыгивают» назад! Все это происходит потому, что живой организм проводит, пропускает через себя электрический ток. Но ведь Природа ничего не делает напрасно! Быть может, внутри организма циркулируют еле заметные, но очень важные для жизни электрические токи, которые просто до поры до времени трудно было обнаружить? Открытие Гальвани поставило именно в этом направлении работать мысль ученых. Усложнялась и улучшалась техника измерений, все более совершенными становились приборы, исследователи научились регистрировать как очень большие, так и еле заметные проявления электрической силы.

Прошел 121 год после опубликования статьи Гальвани, и в 1912 г. было обнаружено, что внутри человеческого организма протекают

очень небольшие электрические токи. Исследователи доказали, что любой процесс внутри организма — работа сердца и мозга, прохождение нервных сигналов, мышечные сокращения сопровождаются биологическими электрическими сигналами, имеющими для каждого органа характерную форму. Сравнение формы сигналов определенного участка организма в здоровом и больном состоянии часто помогает установить причину заболевания.

Во время медицинского обследования в современной поликлинике и при жалобах пациентов на сердечные или головные боли врачи обязательно снимают электрокардиограмму или энцефалограмму, т.е. записывают сигналы небольших биологических токов, протекающих в сердце или головном мозге. Лежа с электродами, прикрепленными к разным частям нашего тела, мы не всегда вспоминаем о том, что человечество шло к этой процедуре больше 150 лет. И первое движение на этом пути сделал скальпель Гальвани.

Физике все возрасты покорны

Среди последователей славного болонского анатома нашелся один внимательный физик, профессор Тессинского университета в Италии Алессандро Вольта, заметивший одну незначительную деталь опытов с «животным электричеством», на которую не обратил внимания сам Гальвани: когда к лягушке присоединяли провода из разнородных металлов, мышечные сокращения становились сильнее. Вольта решил, что два металла, разделенные телом, в котором много воды, хорошо проводящей электрический ток (лягушка, без сомнений, может быть отнесена к таким телам), рожают свою собственную электрическую силу. Смелое и неожиданное предположение!

Решающий эксперимент Вольта провел... на самом себе. «Я накладываю на глазное яблоко конец оловянного листочка, беру в рот серебряную монету или ложку и затем привожу обе эти обкладки в соприкосновение при помощи двух металлических острий, — описывал Вольта свой оригинальный физический опыт. — Это оказывается достаточным, чтобы тотчас же или каждый раз, как производится соприкосновение, получить явление света или преходящей молнии в глазу».

И наконец 20 марта 1800 г. в письме к сэру Джозефу Бэнксу, президенту Лондонского королевского общества, Вольта подробно расскажет об изобретенном им новом источнике электричества: «...я взял несколько дюжин круглых медных пластинок, а еще лучше серебряных, диаметром примерно в один дюйм и такое же количество оловянных или лучше цинковых пластинок. Затем из пористого материала, который может впитывать и удерживать много влаги (картон, кожа), я вырезал достаточное количество кружков. Все эти пластинки я расположил таким образом, что металлы накладывались друг на друга всегда в одном и том же порядке и что каждая пара пластинок отделялась от следующей влажным кружком из картона или кожи...»

Электрохимические батареи, которые все называли «вольтовыми столбами», начали свое победное шествие по земному шару. Из лабораторий ученых они со временем проникли повсюду, до самых отдаленных уголков Земли, — ведь удобные переносные радиоприемники, магнитофоны, телевизоры работают в местах, где нет знакомой электрической розетки от центральной электросети, благодаря маленьким и емким электрохимическим батарейкам, а автомобили трогаются в путь, получив сильный импульс электрического тока от большой стартерной электрохимической батареи. Собрав достаточное количество картонных кружков и монет из разных сплавов, каждый школьник сейчас может составить источник тока по рецепту Вольты.

В декабре 1801 г. Алессандро Вольта после доклада перед Французской академией наук получает из рук Наполеона Большую золотую медаль, присуждаемую за выдающиеся достижения в науке. Вольте в это время 56 лет, он опровергает своей судьбой устоявшееся мнение, что открытия в физике совершаются только до 30 лет.

Через двадцать лет был изобретен еще один источник тока — термоэлектрический. Оказалось, что, нагревая теплом руки, пламенем свечи или керосиновой лампы спай двух проволочек из разных металлов, можно с других, свободных концов проволочек «снять» заметный электрический сигнал.

Причину возникновения термоэлектрического эффекта физики смогли объяснить до конца только в тридцатые годы нашего столетия. Свободные электроны в одной из проволочек под действием теплоты быстрее двигаются к холодному концу, чем в другой! Разница в количестве электронов приводит к появлению электрического напряжения между двумя проволочками. Если их присоединить к внешней электрической цепи, то в ней потечет электрический ток — количество электронов во всех участках цепи начнет выравниваться. Описанное явление можно сравнить с горным водопадом, с опусканием воды в речных шлюзах, с работой гидроэлектростанции: мы затратили энергию на подъем воды наверх — вода отдает ее, падая вниз.

С обнаружением очередного ранее не известного источника тока ученые, изучавшие электричество, могли не только упростить и улучшить свои лабораторные эксперименты. Они с интересом наблюдали, как таинственное электричество возникает под действием совершенно разнородных сил, например тепла или еще неизученных химических реакций на границе между металлами и водой в «вольтовых столбах». Лишь проникновение в структуру вещества, в атомную и молекулярную природу материи позволило со временем понять, что объединяет эти столь различные внешне явления.

Сам Вольта скромно именовал свое изобретение «искусственным электрическим органом» и предложил в честь Гальвани называть электрохимические батарейки «гальваническими элементами». Тем самым Вольта подал своим многочисленным потомкам в науке пример, достойный подражания. И по сию пору название это часто употребляется и давно пишется без кавычек.

Электричество получает законы

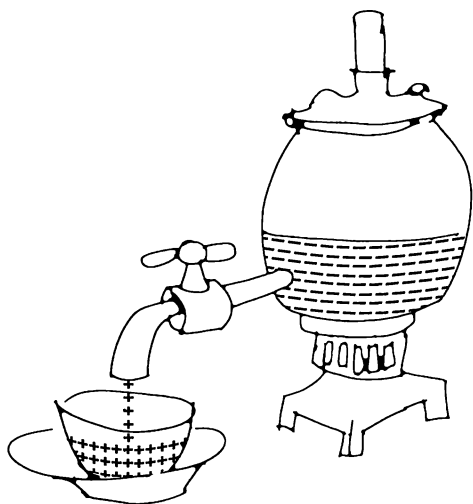
Первый важный закон электричества был установлен французским физиком Шарлем Кулоном в 1785 г. — задолго до изобретения гальванических элементов. Формулировкой закон Кулона удивительно напоминает закон всемирного тяготения: сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению величин их зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Каким же образом сумел Кулон открыть этот точный физический закон, практически не располагая привычным нам лабораторным оборудованием? Использованный им прием лишний раз доказывает, что изобретательность человеческого ума не знает границ! Расстояние и силу взаимодействия между зарядами французский ученый определял с помощью тех же крутильных весов, которыми пользовался Кавендиш для исследования силы тяготения между двумя телами.

Какой прибор помог Кулону найти величину зарядов? Ведь в то время не существовало даже единиц измерения зарядов! И он этого просто не делал, справедливо решив, что для его исследований не нужно знать абсолютную величину электрических зарядов, достаточно иметь два одинаковых заряда или определить, во сколько раз один из них больше другого. Делалось это, например, так. Зарядив один металлический шарик трением о сухую ткань, можно поднести к нему другой, незаряженный. При соприкосновении двух шариков заряды должныделиться между ними поровну. Если к одному из них будет снова поднесен шарик из того же металла, то от первоначального заряда останется только четвертая часть. Вот так, остроумно и легко, делил Кулон электрические заряды на равные части, что и позволило ему открыть закон, который подтвердили точнейшие современные измерения!

Следует помнить, что все это происходило в те далекие времена, когда у большинства ученых существовали довольно путанные представления о двух видах электричества: так называемых стеклянном и смоляном. Повод для этого был очень «серьезный»: стеклянная палочка, потертая о шелк, притягивалась к янтарю, который электризовали с помощью меховой шкурки, но две «заряженные» стеклянные палочки отталкивались друг от друга! Значит, существуют два типа зарядов — отрицательные, «любящие» янтарную смолу, и положительные, оседающие на стекле? Опыты Кулона тоже, казалось бы, подтверждали такой вывод: шарики, заряжаемые разными способами, вели себя подобно стеклянным палочкам и кусочкам янтаря...

Бенджамен Франклин был, вероятно, первым исследователем, предположившим, что оба вида электричества на самом деле представляют собой просто избыток и недостаток электричества одного и того же типа. «Части предмета, подвергаемого трению, притягивают в момент трения электрический огонь и, следовательно, отнимают его от трущего предмета; те же части склонны отдать получен-



ный ими огонь любому телу, у которого его меньше», — писал Франклин в 1748 г. Трудно теперь сказать, на чем основывался Франклин, высказывая эту мысль и далеко опережая взгляды своих современников, — на логическом рассуждении или опыте. Может быть, он заметил, что мех, натирающий янтарь, сам приобретает заряд противоположного знака, как и шелк, трущийся о стекло?

Сейчас мы хорошо знаем, что в любом проводящем теле электрический ток переносят только отрицательно заряженные электроны; положительный заряд, как и предполагал Франклин, созда-

ется там, где электронов меньше чем должно быть обычно, при электронейтральном состоянии атома, молекулы или вещества в целом. Верные взгляды на природу электричества постепенно проби-вали себе дорогу. Но, не дожидаясь полного понимания физической причины явлений, исследователи установили закономерности поведения материалов по отношению к электрическому току. Опыт в те годы часто вел за собой теорию.

Пользуясь крутильными весами для измерения величины тока, протекающего по металлическому проводнику к заряжаемому предмету, немецкий физик Георг Ом, работавший большую часть жизни школьным учителем, открыл закон, имеющий для науки не меньшее значение, чем закон Кулона. Сила тока на участке однородной электрической цепи, гласит закон Ома, прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению этого участка. Сопротивление любого проводника протеканию электрического тока, как доказал Ом, определяется только геометрическими размерами проводника и свойствами материала, из которого он сделан.

Для установления своего универсального закона Ому было необходимо с большой точностью, через определенные интервалы значений менять напряжение, подаваемое на проводники различной длины и поперечного сечения. Он нашел простое, интересное решение: напряжение снималось со свободных концов двух проволок, спай которых нагревался до строго фиксированных, но различных температур, благодаря чему изменялось получаемое напряжение. Ом очень удачно использовал открытый незадолго перед этим термоэлектрический эффект. Как удивительно разнообразны, оригинальны и точны решения, к которым прибегали классики естествознания в своих работах!

Непохожие близнецы

Девятнадцатый век перенимает прекрасную традицию восемнадцатого столетия, оставляет память об удивительно разносторонних ученых.

Ганс Христиан Эрстед получил золотую медаль при окончании Копенгагенского университета за литературное эссе «Границы поэзии и прозы», представив одновременно химическое исследование о свойствах щелочей. Диссертация, за которую Эрстед был удостоен звания доктора философии, посвящена медицине, свои самостоятельные исследования он начал в университете на кафедре фармацевтики, где изучали лекарства, а стал профессором по кафедре физики.

Возникновение тепла при прохождении тока от гальванических элементов через тонкую платиновую проволочку не давало Эрстеду покоя. «Электричество и тепло взаимосвязаны, — думал он, — но, возможно, имеется нечто общее между другими разнородными и внешне непохожими явлениями, например между электричеством и магнетизмом? Говорят, чтобы постоянно помнить об этой проблеме, ученый все время носил в кармане небольшой магнит. В 1813 г. он пишет в своем труде «Исследование идентичности химических и электрических сил», опубликованном во Франции: «Следует испытывать, не производит ли электричество... каких-либо действий на магнит...» Проходит семь лет. Весной 1820 г. Эрстед впервые замечает, что при прохождении электрического тока лежащая рядом с проводом магнитная стрелка (представляющая собой маленький продолговатый магнит с двумя полюсами на концах) начинает отклоняться. После семи лет обдумываний следуют три недели лихорадочных экспериментов.

Исследователь обнаруживает, что на повороты стрелки влияет ее удаленность от провода и электрическое напряжение гальванического элемента; материал провода значения не имеет. Он отмечает странную вещь: сила, возникающая между стрелкой-магнитом и проводом с электрическим током, направлена не по прямой, соединяющей их, а перпендикулярно к ней! Эрстед вскоре разошлет ведущим ученым Европы статью на четырех страничках, называемую, по обычаю того времени, «мемуаром», с описанием своих опытов. В мемуаре Эрстеда содержится и тонкое наблюдение, что «магнитный эффект электрического тока имеет круговое движение вокруг него», будто провод окольцован магнитными силами.

Ученый секретарь Французской академии Франсуа Араго знакомится с опытами Эрстеда в Женеве и 4 сентября 1820 года делает в Париже на заседании академии устное сообщение о них. Опыты Эрстеда поразили Араго. Ведь сам он уже много лет собирает сведения о связи атмосферных электрических явлений с поведением магнитных веществ на Земле и готовится поставить лабораторные эксперименты по проверке своих предположений.

Участвуя в работе экспертной комиссии по выяснению причин

кораблекрушений, Араго замечал, что у кораблей после сильного шторма на море стрелки компасов показывали неверное направление, а железные предметы на борту сильно намагничивались. Вызвать это могла только молния! Волнение ученого передалось членам академии. Они просят его на заседании, намеченном на 22 сентября 1820 г., продемонстрировать опыты Эрстеда.

Внимательно слушает сообщение Араго выдающийся математик Анри Мари Ампер. У него рождается замечательная мысль: если проводник тока всегда окружен магнитными силами, то «электрический конфликт» должен возникать не только между проводом и магнитной стрелкой, но и между двумя проводами, по которым течет ток! В течение этого знаменательного заседания глубокий теоретик превращается в увлеченного экспериментатора. За семь дней Ампер конструирует оригинальный электрический прибор и на следующих заседаниях академии (11 и 18 сентября) демонстрирует присутствующим взаимодействие двух проводников с током!

Если в обоих параллельно расположенных проводниках электрический ток течет в одном направлении, то проводники притягиваются; эти же проводники отталкиваются, когда ток в них проходит во взаимно противоположных направлениях. Позже Ампер выведет простую формулу, которая позволит рассчитать силу взаимодействия двух проводников в том случае, когда они установлены под углом друг к другу. Формула будет названа впоследствии законом Ампера!

Ученый продолжает свои опыты. Свернув проводники в виде двух спиралей, получивших название соленоидов, он доказывает, что соленоиды, установленные рядом, при пропускании тока ведут себя подобно двум магнитам. Ампер исследует влияние магнитного поля Земли на движение проводника, соленоида и металлической рамки с током. Он высказывает опережающую время мысль о том, что внутри магнита в плоскостях, перпендикулярных линии, соединяющей его полюса, имеются круговые электрические потоки, наличие которых обуславливает магнитные свойства. Так и кажется, что французский ученый уже знает о непрерывном движении заряженных частиц внутри каждого вещества, об открытии электрона, о планетарном строении атома, доказанном Резерфордом через столетие.

Свои сообщения на заседании академии он заключил словами: «В связи с этим я свел все магнитные явления к чисто электрическим эффектам». Пройдет много лет, и открытия Ампера лягут в основу метода определения единицы электрического тока. На IX Международной конференции по мерам и весам в 1948 г. будет решено считать основной электрической единицей один ампер — силу тока, при которой два параллельных проводника длиной в один метр взаимодействуют друг с другом с силой в две десятиллионные части ньютона. От силы тока в один ампер произойдет единица количества электричества, названная кулоном, единица напряжения, которая получит наименование вольт, единица сопротивления, именуемая ом.

Очевидцы рассказывали, что идеи Ампера были столь новы, что многие члены Французской академии просто не поняли их революционного научного смысла. «Что же, собственно, нового в том, что вы нам сообщили? — спросил на заседании один из них, обращаясь к Амперу. — Само собой ясно, что если два тока оказывают действие на магнитную стрелку, то они оказывают действие и друг на друга». За Ампера его оппоненту мгновенно ответил Араго. Он вынул из кармана два ключа и сказал: «Вот каждый из них тоже оказывает действие на стрелку, однако же они никак не действуют друг на друга...» Оба ключа, действительно, могут открыть один и тот же замок, но это не будет замок двери в страну знаний.

Открытие Фарадея

Гэмфри Дэви стал профессором в 23 года. За свою долгую жизнь в науке он успел сделать очень много: открыл несколько новых химических элементов; сумел с помощью электрического тока выделить из расплава солей их составные части, в том числе очень чистые металлы; избрал шахтерскую взрывобезопасную лампу; обнаружил обезболивающие свойства оксида азота N_2O , получившего впоследствии название «веселящий газ», и предложил применять ее во время хирургических операций; доказал, как полезно заменить воду в гальванических элементах кислотой, что в несколько раз увеличило силу электрического тока, получаемого от источника электроэнергии, созданного Алессандро Вольтой. Дэви заслужил много научных и общественных наград, прибавил к своему имени почетную приставку «сэр», был избран президентом Королевского научного общества. Но на вопрос о его самом большом открытии в жизни сэр Дэви ответил: «Самым великим моим открытием было открытие Фарадея». И он, несомненно, прав.

Один из историков науки справедливо заметил: «...работы других ученых — Кулона, Гальвани, Эрстеда, Араго, Ампера — представляли собой отдельные «пики», тогда как Фарадей воздвиг «горную цепь» из взаимосвязанных работ». Фарадей сумел значительно опередить свое время не только существом сделанных им открытий, но и цельным подходом к научному творчеству. Он считал, что необходимо искать общность разных процессов в Природе, изучать «точки соприкосновения» областей знания, ибо на стыке наук можно обнаружить совершенно новые закономерности исследуемого явления.

На стыке физики и химии Фарадеем выполнены работы по изучению влияния электрического тока на осаждение и разложение веществ. Два основополагающих закона электролиза были установлены именно этим ученым. Изучая сходство и различие оптических и электрических явлений, Фарадей показал, что электрический ток может усиливать и ослаблять свет. И, конечно, главное — Фарадей доказал окончательно, что электричество и магнетизм неразрывно связаны. В течение одиннадцати лет после открытий Эрстеда и Ампе-

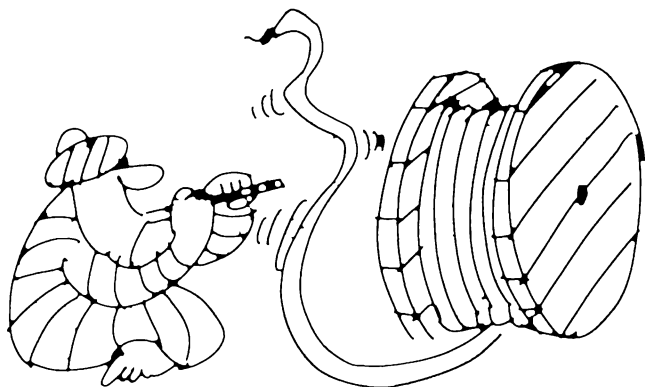
ра он размышлял над этой проблемой. Электричество явно обладает магнитной силой, и теперь осталось подтвердить влияние магнитных явлений на электрические. Физическая природа их так близка!

29 августа 1831 г., как зафиксировано в лабораторном журнале Фарадея, был выполнен исторический эксперимент. На большую деревянную катушку Фарадей навил две электрические спирали, изолированные друг от друга хлопчатобумажной нитью. По одной из спиралей пропускался ток, который Фарадей резко включал и выключал, а другая была соединена с гальванометром — прибором, отмечавшим появление тока во второй спирали.

«При замыкании цепи, — записал Фарадей в журнале, — удалось заметить внезапное, но чрезвычайно слабое действие на гальванометре, и то же самое замечалось при прекращении тока. При непрерывном прохождении тока через одну из спиралей не удалось отметить... действия на гальванометр...»

Спирали из проводников, как доказал Ампер, подобны по своим свойствам магнитам, и Фарадей продолжает свои опыты, заменив одну из спиралей на магнит. Сильные всплески тока наблюдаются, когда Фарадей двигает магнит в катушке со спиралью или, наоборот, перемещает катушку относительно магнита. Он замечает основные особенности явления: ток появляется только при движении катушки и магнита относительно друг друга; направление тока, возникающего в момент, когда магнит входит в катушку, изменяется на противоположное при выходе магнита из катушки.

Обнаруженное Фарадеем явление получило название электромагнитной индукции. Его недаром относят к наиболее выдающимся открытиям XIX века — работа миллионов электродвигателей и генераторов электрического тока во всем мире основана на явлении электромагнитной индукции. Простейшим генератором электрического тока является разомкнутая прямоугольная рамка из металлического проводника, вращаемая в однородном магнитном поле. Если к концам рамки присоединить внешнюю нагрузку, то по цепи потечет переменный электрический ток. Напряжение на концах рамки и сила тока в цепи будут изменяться по периодическому закону — в зави-



симости от положения рамки в магнитном поле. Время полного цикла изменения силы тока называется периодом, а число периодов в одной секунде — частотой переменного тока. В Европе частота переменного тока, поступающего к потребителям, составляет 50 Гц, а в США — 60 Гц.

Фарадей был глубоко уверен в единстве электрических и магнитных явлений. Первым из ученых он ввел понятие единого электрического и магнитного поля, окружающего магниты и проводники с током. Это поле переносит в пространстве, как считал Фарадей, электромагнитные сигналы. Мысль оказалась настолько важной для всего последующего развития физики, что Альберт Эйнштейн назвал человека, которого она впервые посетила, «избранником». Несколько десятилетий спустя Джеймс Клерк Максвелл разовьет идею Фарадея, облечет ее в ясную и точную математическую форму, и электромагнитное поле займет положенное ему важнейшее место во всех разделах физики.

Науке очень повезло, что сэр Дэви открыл Фарадея!

Плененное электричество

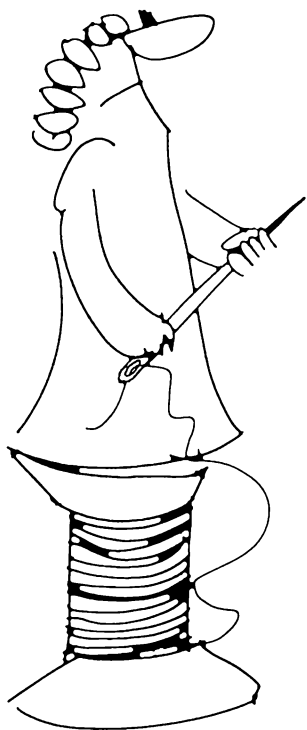
Если паровые котлы и механические двигатели сначала были придуманы инженерами и изобретателями, а физики после этого помогли их значительно усовершенствовать, то с электрическими машинами все обстояло наоборот. Здесь открытия ученых — и в первую очередь Фарадея — послужили толчком для изобретательской фантазии инженеров, которые теперь с полным правом могли называть себя электриками и энергетиками.

В технике основными устройствами, в которых использовано явление электромагнитной индукции, являются генераторы электрического тока, электродвигатели и трансформаторы.

Генератор состоит из ротора и статора. Ротор — стальной цилиндр с пазами, в которых уложена обмотка из проводников, находится внутри статора. Ротор имеет общую ось с турбиной, которая вращается под действием пара, газа или падающей воды (на гидростанциях). Ротор, вращающийся вместе с турбиной, представляет собой большой подвижный электромагнит.

Статор — массивный неподвижный полый стальной цилиндр. На его внутренней стенке в пазах также уложена обмотка из проводников. При вращении ротора в проводах статора благодаря электромагнитной индукции возникает переменный электрический ток, поступающий во внешнюю электрическую цепь — к потребителям электроэнергии.

В электродвигателях происходит обратное превращение: переменный электрический ток, протекающий по проводам статора, заставляет ротор вращаться. С помощью механических приспособлений движение ротора можно передать ленте транспортера, эскалатору метро, зубчатым и ременным передачам любого станка на современном заводе.



Мощные генераторы выпускаются сейчас во многих странах мира. Для экономичной передачи вырабатываемой ими электроэнергии на большие расстояния к бытовым и промышленным потребителям, а также для ее распределения между этими потребителями необходимы такие электрические устройства, как трансформаторы.

Трансформатор состоит из стального сердечника и двух (или более) обмоток с различным числом витков. Это устройство (также благодаря электромагнитной индукции) преобразует переменный электрический ток, понижая или повышая его напряжение в зависимости от соотношения числа витков «входной» и «выходной» обмоток трансформатора.

Современники Фарадея — английский физик Джоуль и русский ученый Ленц практически одновременно и независимо друг от друга вывели закон, определяющий тепловое действие электрического тока. Количе-

ство теплоты, выделяемой в окружающую среду проводником с током, гласит закон Джоуля—Ленца, равно произведению квадрата силы тока, времени его протекания и сопротивления проводника.

Переход в тепло означает, что электроэнергия при передаче по проводам теряется, а при очень длинных линиях электропередачи она может вообще не дойти до места назначения — примерно так и получалось на заре развития электротехники в первых опытных линиях электропередачи. Конечно, вероятность такого печального исхода тем выше, чем больше сила электрического тока и чем тоньше и протяженнее провода. Вот здесь-то и «выручает» трансформатор: повышая напряжение, он уменьшает силу тока, отправляемого в дальний путь. Однако в конце этого пути при распределении электроэнергии между потребителями нужно (опять-таки с помощью трансформатора) понизить напряжение, в частности, чтобы сделать его безопасным для жизни людей.

Непроторенными тропами

Прекрасно работают разнообразные электрические устройства, и нам сейчас было бы трудно представить себе жизнь без тихого, но незаменимого участия электрического тока.

Новые научные идеи, правда, постоянно возникают и в этой, уже

ставшей традиционной, области физики. Ученые, например, пытаются создать электрические генераторы совсем без... вращающихся частей. В обычных электродвигателях к ротору приходится тоже подводить постоянный ток, чтобы возникла «магнитная сила». Когда похожий на ротор электромагнит притягивает к себе и поднимает в воздух, переноса с места на место, тяжелые стальные и железные детали на заводе, такого «электрического» грузчика легко подключить к сети — он двигается спокойно и неторопливо. К электромагниту, «работающему» ротором (скорость его вращения иногда достигает трех тысяч оборотов в минуту!), электрический ток приходится подводить через проводящие угольные щетки и кольца, которые трутся друг о друга и легко изнашиваются при столь быстром движении. Это, пожалуй, наиболее уязвимое место двигателей и генераторов.

И вот у физиков родилась необычная мысль — заменить ротор струей раскаленных газов, плазменной струей, в которой много свободных электронов и ионов. Если пропустить такую струю между полюсами сильного магнита, то по закону электромагнитной индукции в ней обязательно возникнет электрический ток — ведь струя движется. Электроды, с помощью которых ток должен «выводиться» из раскаленной струи, могут быть неподвижными в отличие от угольных щеток обычных электрических устройств.

Новый тип электрической машины получил название магнитогидродинамического генератора. При ее создании, конечно, возникло много сложнейших научных и технических проблем. Электроды нового генератора стоят неподвижно, но им надо «уцелеть» в горячей струе, летящей со скоростью 330 м/с. Температура плазмы, выбрасываемой этим огнедышащим драконом, составляет 1200 °C (в центре его — еще больше: 2450 °C).

Впервые в мире экспериментальный образец магнитогидродинамического генератора был создан в нашей стране. Под руководством академиков В. А. Кириллина и А. Е. Шейндлина запущен генератор этого типа мощностью 25 млн Вт! Создаются устройства с еще большей энергоотдачей, которые сначала предполагается использовать в сочетании с обычной теплоэлектростанцией — не пропадать же зря температуре в 1200 °C на выходе!

Значительно усовершенствован в наши дни и электрохимический источник тока, изобретенный Алессандро Вольтой. Миллионы маленьких и больших гальванических батареек разнообразнейших конструкций выпускаются во всем мире ежегодно. В середине XX столетия ученые создали оригинальный электрохимический генератор, получивший название топливного элемента. Электроды топливного элемента представляют собой полые трубки из пористого угля, пропитанные катализатором, по которым пропускают два газа — водород и кислород. На электродах водород отдает во внешнюю цепь электроны, а кислород принимает. Образовавшиеся ионы водорода и кислорода, соединяясь, превращаются в воду. Из газового топлива получается сразу и электроэнергия и вода! Это удобный, бесшум-

ный и чистый источник тока для дальних путешествий, например в космосе, где особенно нужны оба продукта «деятельности» топливного элемента.

Необъятная энергия крохотного атома

«Хороша наука — физика! Только жизнь коротка». Эти слова принадлежат ученому, удивительно много успевшему сделать в физике, — академику Игорю Васильевичу Курчатову, создателю первой в мире атомной электростанции. 27 июня 1954 года эта уникальная электростанция вступила в строй. У человечества появился еще один могучий источник электроэнергии.

Путь к овладению энергией атома был долгим и нелегким. Начался он в первые десятилетия XX века с открытия естественной радиоактивности супругами Кюри, с постулатов Бора, планетарной модели атома Резерфорда и доказательства такого, как сейчас кажется, очевидного факта — ядро любого атома состоит из положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов.

В 1934 году супруги Фредерик и Ирен Жолио-Кюри (дочь Мари Склодовской-Кюри и Пьера Кюри) обнаружили, что бомбардировкой альфа-частицами (ядрами атомов гелия) можно превратить обычные химические элементы в радиоактивные. Новое явление получило название искусственной радиоактивности. При такой бомбардировке начинается каскад химических превращений. В результате элементы с искусственной радиоактивностью постепенно уступают свое место стабильным элементам, которые распадаются уже не будут. С помощью облучения или бомбардировки легко сделать явью мечту алхимиков — изготовить золото из других химических элементов. Только стоимость такого превращения значительно превысит цену полученного золота.

Больше пользы (и, к сожалению, тревог) принесло человечеству открытое в 1938—1939 годах группой немецких физиков и химиков деление ядер урана. При облучении нейтронами тяжелые ядра урана распадаются на более легкие химические элементы, принадлежащие к средней части Периодической системы Менделеева, и выделяют несколько нейтронов. Для ядер легких элементов эти нейтроны оказываются лишними. При «раскалывании» ядер урана может начаться цепная реакция: каждый из двух-трех полученных нейтронов способен в свою очередь произвести на свет несколько нейтронов, попав в ядро соседнего атома.

Общая масса продуктов такой ядерной реакции оказалась, как подсчитали ученые, меньше массы ядер исходного вещества — урана. По уравнению Эйнштейна, связывающему массу с энергией, можно легко определить, что при этом должна выделяться огромная энергия! Причем если цепная реакция будет неуправляемой и пройдет до конца, то произойдет это за ничтожно малое время.

Огромные физические и технические возможности, скрытые в процессе деления урана, одним из первых оценил Энрико Ферми,

в те далекие тридцатые годы прошлого столетия еще очень молодой, но уже признанный глава итальянской школы физиков. Задолго до Второй мировой войны он с группой талантливых сотрудников исследовал поведение различных веществ при нейтронном облучении и определил, что эффективность процесса деления урана можно значительно повысить... замедлив движение нейтронов. Как это ни странно на первый взгляд, при уменьшении скорости нейтронов увеличивается вероятность их захвата ядрами урана. Эффективными «замедлителями» нейтронов служат вполне доступные вещества: парафин, углерод, вода.

Переехав в США, Ферми и там стал мозгом и сердцем проводимых американскими учеными ядерных исследований. Два дарования, обычно исключаящие друг друга, сочетались в Ферми: выдающегося теоретика и блестящего экспериментатора. «Пройдет еще очень много времени, прежде чем мы сможем увидеть равного ему человека», — писал американский ученый У. Зинн после безвременной (в возрасте 53 лет) кончины Ферми от злокачественной опухоли в 1954 г. Коллектив исследователей, сплотившихся вокруг Ферми в годы Второй мировой войны, решил на основе цепной реакции деления урана создать оружие невиданной разрушительной силы — атомную бомбу. Ученые спешили, чтобы нацистская Германия не смогла изготовить новое оружие раньше и использовать его в своем бесчеловечном стремлении к порабощению других народов.

Ученым удалось уже в 1942 г. собрать и запустить на территории стадиона Чикагского университета первый атомный реактор. Стержни из урана в реакторе перемежались угольными «кирпичами»-замедлителями, а если цепная реакция все же становилась слишком бурной, ее можно было быстро остановить, введя в реактор пластины из кадмия, разъединявшие урановые стержни и полностью поглощавшие нейтроны.

Исследователи очень гордились придуманными ими простыми приспособлениями к реактору, которые сейчас вызывают у нас улыбку. Один из сотрудников Ферми в Чикаго, физик Г. Андерсен, вспоминает, что кадмиевую жезь прибавляли к деревянному бруску, который при необходимости мгновенно опускался в котел под действием собственной тяжести, что послужило поводом дать ему название «миг». Андерсен пишет: «Перед запуском котла этот стержень следовало вытянуть вверх и закрепить веревкой. При аварии веревку можно было бы перерезать и «миг» занял бы свое место внутри котла».

В атомном реакторе была получена управляемая цепная реакция, проверены теоретические расчеты и предсказания. В реакторе шла цепь ядерных превращений, в результате которых накапливался новый химический элемент — плутоний. Его, как и уран, можно использовать для создания атомной бомбы. Ученые определили, что существует «критическая масса» урана или плутония: если атомного вещества достаточно много, то цепная реакция приводит к взрыву, если мало, то происходит просто выделение тепла.

В атомной бомбе простейшей конструкции уложены рядом два куска урана или плутония, причем масса каждого немного не «дотягивает» до критической. В нужный момент запал из обычного взрывчатого вещества соединяет куски, суммарная масса атомного горючего превышает критическое значение — и выделение разрушительной энергии чудовищной силы происходит мгновенно. Ослепительное световое излучение, ударная волна, сметающая все на своем пути, и проникающее радиоактивное излучение обрушились на жителей двух японских городов — Хиросимы и Нагасаки — после взрыва американских атомных бомб в 1945 г., поселив с тех пор в сердцах людей страх перед последствиями применения атомного оружия.

Под объединяющим научным началом И. В. Курчатова советские физики к 1949 году тоже разработали атомное оружие, а в 1953 году было создано еще более мощное и страшное оружие — термоядерная бомба. Одним из ее создателей был академик А. Д. Сахаров. Но руководитель всех этих работ не переставал думать и о мирном использовании атомной энергии. Ведь атомный реактор приходится интенсивно охлаждать, почему же это тепло не «отдать» паровой или газовой турбине, не применить для обогрева домов?

Через атомный реактор пропустили трубки с жидким легкоплавким металлом. Разогретый металл поступал в теплообменник, где передавал свое тепло воде. Вода превращалась в перегретый пар, начинала работать турбина. Реактор окружили защитной оболочкой из бетона с металлическим наполнителем: радиоактивное излучение не должно вырываться наружу. Атомный реактор превратился в атомную электростанцию, несущую людям спокойный свет, уютное тепло, желанный мир.

Панацея от экологических бед или источник губительных катастроф?

26 апреля 1986 г. в СССР произошел взрыв реактора на Чернобыльской атомной электростанции. По числу жертв в нынешнем и будущих поколениях, по экономическому ущербу, по близким и отдаленным последствиям Чернобыльская авария — одна из крупнейших катастроф XX века, сотворенная руками людей. Перед человечеством встал вопрос: нужно ли развивать атомную энергетику дальше?

Долгое время среди специалистов было широко распространено мнение, поддерживаемое политическими деятелями и общественностью, что спасти нашу планету от постоянно увеличивающегося загрязнения отходами тепловых электростанций можно лишь с помощью атомной энергетики. Преимущества атомной энергетики здесь неоспоримы. Уран в 2,5 миллиона раз более энергоемок, чем уголь. Ядерные реакторы, занимающие сравнительно небольшой объем, загружаются топливом сразу на год. Поэтому нет необходимости доставлять на атомные электростанции огромное количество топ-

лива, а затем решать, куда девать миллионы тонн золы, как не допустить загрязнения атмосферы продуктами сгорания органического топлива, вредными для здоровья.

Выработка энергии на атомных электростанциях — вот наиболее экологически чистый способ ее получения в необходимых количествах, который человечество может иметь уже в самом ближайшем будущем, а вероятность аварий, сопровождающихся опасными радиоактивными выбросами, на таких станциях чрезвычайно низка, — утверждают многочисленные сторонники этого научно-технического направления.

Его противники столь же горячо призывают к полному отказу от использования атомной энергии. По их мнению, следует не только прекратить строительство новых АЭС, но и закрыть уже имеющиеся, надежно их законсервировав. Ведь атомная электростанция — это, по существу, атомная бомба, в которой процессы, как говорят физики, замедлены до стационарного состояния. И хотя АЭС ни при каких условиях не может превратиться в атомную бомбу, всегда существует опасность радиоактивного облучения персонала и окрестного населения, а также радиоактивного загрязнения окружающей среды. История развития атомной энергетики уже не раз «убедительно подкрепила» эту точку зрения серьезными авариями. Особенно страшно, что такие аварии часто происходят из-за небрежности и безответственности персонала АЭС.

Подобные проблемы существуют во всех странах — в России, США, Японии, Великобритании, Франции. От аварий не застрахована ни одна страна, использующая АЭС. Что же такое атомные электростанции — величайшее достижение науки и техники, способное решить наши экологические проблемы, или страшная опасность, грозящая человечеству катастрофами, а может быть, даже гибелью?

Используя терминологию, применяемую по отношению к обычным тепловым станциям, говорят, что отходы — это «невыгоревшее» ядерное горючее. Они представляют собой смесь урана и плутония, активность которых невелика, а также осколки деления ядер, где радиоактивных продуктов достаточно много. Среди них есть как короткоживущие изотопы с периодом полураспада (время распада половины ядер), составляющим месяцы или годы, так и долгоживущие — с периодом полураспада в сотни и тысячи лет. Наиболее активны именно короткоживущие элементы. За время пребывания отходов в хранилищах АЭС основная часть короткоживущих элементов распадается и радиоактивность отходов снижается в тысячи раз. После этого их перевозят в постоянные хранилища.

Сторонники атомной энергетики считают, что грамотно спроектированная АЭС при условии безаварийной работы и наличии надежных временных и постоянных хранилищ отходов не представляет никакой опасности ни для персонала станции, ни для окрестного населения, ни для окружающей Природы. Их расчеты показывают, что при хорошей защите реактора увеличение уровня

радиации в радиусе 80 км от АЭС по меньшей мере в 6000 раз ниже фона, обусловленного распадом естественных радиоактивных веществ почвы, горных массивов, строительных материалов, а также постоянным космическим излучением.

Проблему хранения отходов, считают специалисты, можно решить, не только сооружая искусственные герметичные хранилища, но и используя геологические образования на суше и на море, герметичность которых обеспечена самой Природой. Известно, например, что в течение сотен миллионов лет существуют образования соли — соляные купола, из которых соль не вымывается. Это значит, что все это время туда не проникала вода, которая могла бы нарушить герметичность. Хранилище должно быть оснащено чувствительными датчиками, сигнализирующими даже о самом незначительном нарушении герметичности, чтобы в этом случае контейнеры были немедленно перенесены в другое надежное хранилище.

Никакие аварии на АЭС, включая Чернобыльскую, по мнению специалистов, не могут бросить тень на атомную энергетику в целом, стать аргументом против ее развития. Атомную энергетику, конечно, надо развивать, но только при непременном выполнении одного условия: катастрофы, связанные с радиоактивным заражением больших территорий и отселением сотен тысяч людей, должны быть исключены полностью. Нужна принципиально новая концепция, на основе которой будет создан ядерный реактор со свойством «сверхвысокой надежности»: даже в случае аварии с разрушением такого реактора все радиоактивные осколки останутся в пределах защитной оболочки, что предотвратит распространение радиоактивного загрязнения за пределы станции. Ученые ряда стран, в том числе и России, уже предложили несколько вариантов подобной конструкции. Перспективным считается переход к так называемым модульным схемам станций с несколькими реакторами (небольшой мощности каждый), так что в случае аварии ущерб будет невелик. Есть предложение располагать реакторы глубоко под землей.

Совершенно противоположных взглядов на экологические проблемы, связанные с атомной энергетикой, придерживаются ее противники. Они считают, что в принципе атомная электростанция, даже самая совершенная в техническом отношении, не может быть абсолютно надежной. И не только потому, что никакими техническими средствами нельзя полностью исключить «человеческий фактор» и во всех деталях предугадать его влияние. Наличие на АЭС ядерного горючего неизбежно создает сложные проблемы не только технического, но и политического (а иногда и криминального!) характера. Например, развитие атомной энергетики приводит к накоплению плутония, образующегося при работе ядерного реактора. А плутоний — прекрасное сырье для изготовления атомного оружия! Не исключена также опасность похищения ядерного горючего политическими шантажистами или просто злоумышленниками. Вы-

сказываются серьезные опасения по поводу влияния на окружающую среду хранилищ с отходами, число которых, по мере развития атомной энергетики, должно возрасть.

В споре о преимуществах и опасностях атомной энергетики аргументы каждой из сторон выглядят убедительными. Так каково же ее будущее? Сегодня ученые, политики и общественные деятели еще не пришли к единому мнению по этому вопросу. Будем надеяться, что решаться он будет не методом «проб и ошибок», подобных Чернобыльской трагедии.

Солнце будет гореть на Земле!

Друзья и сотрудники звали Энрико Ферми Папой, считая, что в научных вопросах он столь же непогрешим, как Папа Римский — в религиозных... У Игоря Васильевича Курчатова было два прозвища — Борода и Генерал. Курчатов начал носить бороду после болезни во время войны и поклялся, что не сбреет ее до тех пор, пока не наступят победные дни. Видимо, он имел в виду не только военную победу над фашизмом, но и достижения в науке, ибо носил бороду до конца своих дней. Настоящему физик-у всегда кажется, что главная удача еще впереди... Генералом Курчатова впервые назвал Анатолий Петрович Александров, будущий президент Академии наук СССР. «Вы Генерал и должны возглавить эти работы!» — убеждал он Курчатова в 1942 году. Только физик с «генеральским» научным авторитетом, умной волей и умением объединять людей должен был стоять во главе коллектива ученых, решавших атомные проблемы. Именно таким физиком являлся Курчатов.

Атомный реактор и атомная бомба были важными, но преходящими этапами в научной биографии обоих ученых. Ферми в последние годы жизни вернулся к сложным теоретическим вопросам ядерной физики. Курчатов, едва первая атомная электростанция вступила в строй, стал вести исследования по разработке еще более могучего источника электроэнергии. Он глубоко верил, что термоядерный синтез — слияние при высоких температурах нескольких ядер в одно, идущий с высвобождением огромного количества энергии, тоже удастся «приручить», сделать управляемым, послушным воле человека. Ученые считают, что именно реакция термоядерного синтеза обеспечивает горение Солнца. В недрах Солнца очень подходящая для этих реакций температура — 15—20 миллионов градусов!

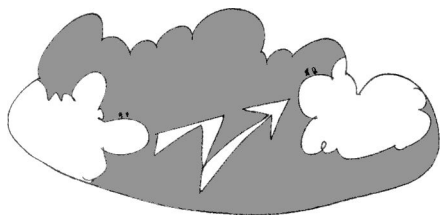
Ученики Курчатова академики Л. А. Арцимович, М. А. Леонтович, Е. П. Велихов, Б. Б. Кадомцев разработали способы, с помощью которых может зажечься на Земле искусственное солнце. Раскаленную плазму надо запереть в прочных «стенках» магнитного поля, сжать и разогреть мощными электрическими разрядами, светом, бомбардировкой электронным или ионным пучком. В качестве исходных веществ при получении плазмы выгодно (в энергетическом смысле) использовать изотоп водорода дейтерий и легкий элемент литий.

Энрико Ферми много времени и сил уделял другой новой ветви

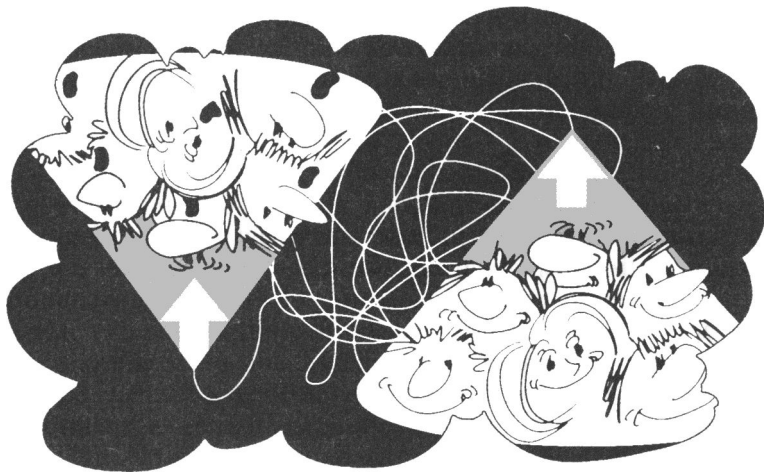
ядерных исследований, получившей название «физика элементарных частиц». Сейчас это, пожалуй, самая сложная и волнующая область физики, где ученые непрерывно встречаются с новыми, странными и удивительно красивыми явлениями. Как трудно, например, привыкнуть к процессам, наблюдаемым при столкновении одних элементарных частиц (электрона, протона, нейтрона) с другими частицами или ядрами: они не раскалываются на части, не разрушаются, а... превращаются друг в друга.

Настоящую сенсацию вызвало среди физиков открытие у электрона двойника — позитрона. Позитрон во всем подобен электрону, кроме заряда — он у позитрона положительный. Прошло пятнадцать-двадцать лет после теоретического предсказания, а затем и экспериментального обнаружения позитрона, и двойники, получившие название античастиц, нашлись у всех без исключения элементарных частиц. Все эти поразительные открытия были сделаны благодаря тому, что физики научились сообщать элементарным частицам большие энергии и скорости, нашли способ сильно разгонять своих «питомцев» прежде, чем произойдет их роковая, быстротечная встреча с другими частицами.

В принципе ускоритель электронов устроен несложно. В кольцевом тоннеле из стали создается почти космический вакуум, внутри летит пучок частиц, а от тоннеля отходят прямые боковые рукавотростки, куда исследователи время от времени «выводят» часть пучка. Здесь находятся измерительные приборы, облучаемые вещества, скоростные фотокамеры. Практически же, это очень сложная и дорогостоящая техника. Но чтобы окупить в наших глазах усилия, потраченные на постройку огромных ускорителей, достаточно вспомнить, что они помогли открыть явление аннигиляции, или взаимного уничтожения двух элементарных частиц-близнецов. Электрон и позитрон исчезают, оставляя нам вместо себя гамма-излучение. Теоретические прогнозы показывают, что процесс аннигиляции частиц, столкновение вещества с антивеществом, может привести к освобождению грандиозного количества энергии, превосходящего во много раз энергию атомного взрыва и термоядерного синтеза. Кто знает, не будет ли когда-нибудь энергоснабжение всего земного шара осуществляться с помощью нескольких ускорителей.



ПРЕВРАЩЕНИЯ СВЕТА



Наиболее удивительная и чудесная смесь цветов — белый цвет.

И. Ньютон

Представьте себе площадь средневекового европейского города в воскресный день. Бродячие цирковые артисты дают представление. Один красочный номер сменяется другим, и в самом конце перед тесной толпой зрителей возникает седобородый человек, устанавливающий в центре площади на треножнике большой черный ящик. Человек показывает, что в одной из боковых стенок ящика сделано отверстие, а противоположная отверстию стенка выполнена из полупрозрачного пергамента. Веселый разноцветный клоун встает прямо перед ящиком — с той стороны, где отверстие. Зрителей приглашают по очереди поближе рассмотреть пергамент, предварительно закрыв себя и ящик черным покрывалом от слепящих лучей солнца.

Удивлению и восторгам нет конца: на пергаменте явственно проступает изображение клоуна, только вверх ногами — будто клоун стоит сейчас на голове. Что за чудеса! Как клоун пробрался сквозь маленькую дырочку в ящик?

Зрители с трудом отрывают взгляд от пергамента и видят, что живой клоун, улыбаясь, стоит на прежнем месте. На пергаменте же не клоун, а его изображение.

Зрителей уже начинают тревожить сомнения: может быть, клоун был заранее нарисован на пергаменте?

В этот момент настоящий клоун подпрыгивает и встает на руки, болтая в воздухе ногами. И, будто по команде, изображение клоуна на пергаменте переворачивается, и зрителям кажется, что клоун наконец встал, как все нормальные люди, на ноги.

Нам, привыкшим к фотографии, телевидению и кино, трудно себе представить мысли и чувства средневековых зрителей, впервые увидевших только что описанную камеру-обскуру, замечательное изобретение безымянного автора, прообраз многих современных оптических приборов. И в наши дни ученые продолжают обсуждать особенности изображений, создаваемых в камере-обскуре, а ведь о ней знали уже в X—XI веках не только в Европе, но и на Арабском Востоке.

Известный физик и историк науки С. И. Вавилов писал: «С помощью этого общедоступного прибора все поняли, наконец, что такое действительное оптическое изображение предметов, и убедились в его существовании. До камеры изображение знали только в глазу и на картинах, создаваемых рукой художника. Камера решительно отделила свет от зрения... оптика (в точном значении слова — наука о зрении) перестала быть таковой и превратилась в учение о свете».

Можно дополнить мысль Вавилова: исследуя камеру-обскуру, ученые окончательно расстались с распространенной в древности идеей о светоносных лучах, исходящих из наших глаз.

В крохотное отверстие черной стенки попадали солнечные лучи, отражаемые предметами и людьми. Солнечный свет, «оттолкнувшись» от яркой шапочки клоуна, врывается в отверстие камеры и освещал нижнюю половину пергамента; лучи, отраженные от ног клоуна, падали на верхнюю часть полупрозрачной стенки камеры, создавая перевернутое изображение клоуна.

Всматриваясь в глаз

Разбирая устройство камеры-обскуры, Леонардо да Винчи пришел к выводу: «То же происходит и внутри глаза!» Великий художник и ученый научился анатомировать глаз и установил, что основные части глаза человека — радужная оболочка, хрусталик, сетчатка, зрительный нерв. Сохранились рисунки Леонардо да Винчи, изображающие устройство глаза. На одном из них лучи попадают в глаз через маленькое отверстие, роль которого играет зрачок, и глаз, как камера-обскура, окружен светонепроницаемыми стенками. Хрусталик глаза представляет собой прозрачную сферу, переворачивающую световые лучи. В этом Леонардо да Винчи ошибался. В XVI веке «изобразительные» возможности камеры улучшились и усилилось ее сходство с человеческим глазом: в отверстие камеры-обскуры догадались вставить двояковыпуклую собирающую линзу.

Медленно, но настойчиво раскрывали ученые тайны одного из самых совершенных оптических инструментов природы — человеческого глаза. Знаменитый астроном Иоганн Кеплер приспособил камеру-обскуру для наблюдения солнечного затмения, много экспериментировал с нею и сумел построить точную оптическую схему

глаза, наиболее верно описал ход лучей внутри него. Он высказал правильное предположение: лучи, собранные хрусталиком, дают на светочувствительной сетчатке глаза, как в камере-обскуре, перевернутое изображение. Исследования физиков и врачей XX века показали, что это соответствует истине: мозг, а не глаз еще раз меняет «низ» с «верхом», облегчая нашу ориентацию в окружающем мире.

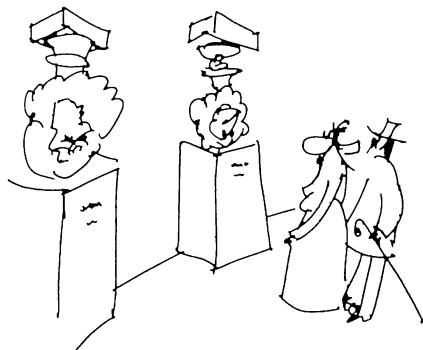
Доказано это было оригинально и просто: сами экспериментаторы, а затем и добровольцы-пациенты рискнули надеть очки, переворачивающие изображение. Сначала пациенты видели все перевернутым, но через несколько дней мозг все поставил на место — и окружающий мир для них вновь «встал на ноги».

После открытий Кеплера пройдет немного времени, и ученые, тщательно изучив отдельные части глаза, придут к выводу, что каждый слой недаром отличается по оптическим свойствам от соседних. За счет этого в глазу, как в сложном составном оптическом приборе, недостатки одного преломляющего слоя исправляет следующий за ним. Ученые и изобретатели задумались: может быть, пора начать копировать Природу и конструировать оптические инструменты по образу и подобию тех, которые уже созданы живыми организмами? Еще в 1695 году один из исследователей писал, что было бы, вероятно, полезно составить объектив зрительной трубы из различных сред, как это устроено в глазу природой, которая ничего не делает зря.

Наука заимствования технических идей у Природы, получившая название «бионика», возникла, по меньшей мере, еще в конце XVII века. И это лишний раз подтверждает справедливость слов: все новое — хорошо забытое старое. Так, оптика в конце XVII — начале XVIII веков действительно стояла перед трудной и насущной задачей создания оптических систем, не искажающих изображение предмета. В те времена мореплавателям требовались все более совершенные подзорные трубы, астрономам — лучшие телескопы. И хотя приборы эти были изобретены в начале XVII века, путь к их созданию, богатый ошибками и счастливыми догадками, начался еще до новой эры.

Поднимем предмет... не прикасаясь к нему

Сделаем простой и эффектный оптический опыт. Положим на дно пустого стеклянного стакана металлическое кольцо или монету и поставим стакан так, чтобы его край мешал нам видеть их сверху. Будем наливать в стакан воду. Мы с удивлением обнаружим, что кольцо или монета начнут появляться из-за края стакана. Трудно удержаться, чтобы не посмотреть на стакан сбоку: нет, кольцо (или



монета) по-прежнему спокойно лежат на дне, а ведь нам кажется, что они всплывают. Всплывают, повинаясь таинственному оптическому закону преломления света.

Этот опыт впервые описал великий геометр Евклид в III веке до нашей эры. Размышляли об искажении пути световых лучей при переходе из воздуха в воду, из воды в стекло (и наоборот) и другие крупные ученые древности — Аристотель, Птолемей, Клеомед. Они первыми начали изучать отражение и преломление лучей на границе двух оптических сред.

Птолемей даже измерил, как отклоняется световой луч от первоначального пути при переходе из воздуха в воду, с помощью опущенного в воду диска с делениями и подвижными линейками, вращающимися вокруг центра диска. По данным Птолемея, если падающий луч отклоняется в воздухе от вертикали на 50 градусов, то угол между вертикалью и преломленным в воде лучом составляет 35 градусов. Измерения, сделанные в наше время, дали для преломленного луча цифру 34 градуса и 3 минуты. Неплохой точности измерений достигали древнегреческие ученые!

Еще до нашей эры был установлен закон отражения от зеркальной поверхности: угол падения равен углу отражения (оба угла отсчитываются от вертикали к поверхности). Этому закону подчиняются любые зеркала: металлические и стеклянные, плоские, выпуклые и вогнутые. С помощью этого закона, впервые сформулированного в труде Евклида «Катоптрика» (от греческого слова «катоптрон» — зеркало), ученые научились рассчитывать форму и размер изображений в зеркалах, определять фокус вогнутых зеркал — «горячую» точку, где сходятся отраженные таким зеркалом солнечные лучи.

Древнегреческие исследователи природы доказали, что при переходе из менее плотной среды (воздуха) в более плотную (стекло, воду) световой луч отклоняется от вертикали к поверхности раздела двух сред на меньший угол, чем луч падающий. Они понимали, что уловленную ими закономерность можно выразить в виде четко сформулированного простого закона, но сделать это удалось лишь в первой половине XVII века. Впервые закон преломления был правильно сформулирован в неопубликованной работе голландского математика Снеллиуса (или Снеллия), найденной в личных бумагах ученого в 1626 г., после его смерти. Современная формулировка этого закона была дана известным французским ученым Рене Декартом в публикации, относящейся к 1630 году, причем не ясно, были ли ему известны исследования Снеллиуса.

Падающий и преломленный лучи лежат в одной плоскости для всех углов падения. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная, называемая показателем преломления одной среды по отношению к другой. Например, вода относительно воздуха имеет показатель преломления — 1,33, а кварцевое стекло — 1,52.

Прошло еще полвека, и ученые открыли, что явление преломле-

ния связано с изменением скорости света при переходе из одной среды в другую. Если показатель преломления больше единицы, то луч света, попадая в более плотную среду, немного замедляет свой стремительный бег. Почему же уменьшение скорости приводит к изменению направления лучей? На первый взгляд эта связь не выглядит очевидной, и на помощь полезно призвать образное сравнение. Например, с автомобилем, прямолинейный путь которого, как свидетельствует печальный опыт многих водителей, заметно искажается при резком торможении на скользкой дороге...

Или часто приводимая аналогия с отрядом солдат, идущих по ровной гладкой дороге, следом за которой (под большим углом к дороге) внезапно начинается рыхлое поле. Солдаты, вступившие на поле, естественно, замедляют ход, и те, кто еще идет по ровной дороге, начинают их догонять. Затем и они вступят на поле, скорость всех снова сравняется, но оказывается, что идти вся колонна будет уже немного отклонившись от первоначального направления. Как говорил в своей речи при получении Нобелевской премии в 1933 г. известный физик Э. Шредингер, описывая движение светового луча в среде переменной плотности, используя тот же пример с отрядом солдат: «...и поворот фронта осуществится сам собой».

Если бы мы жили под водой...

Преломление лучей на границе двух прозрачных сред полностью обратимо: когда луч переходит из более плотной среды, например воды, льда, стекла, в менее плотную, в воздух, то он сильнее отклонится от нормали, чем первоначальный луч. Вы догадываетесь, что здесь скрывается одна очень интересная техническая возможность, которую научились по-настоящему использовать только во второй половине XX века.

Если луч из стекла в воздух направлять под все большим углом к нормали, то можно добиться такого положения, что преломленный луч сначала заскользит вдоль поверхности раздела, а затем и вовсе останется в стекле, начнет отражаться обратно. То же самое произойдет при переходе луча из стекла с высоким показателем преломления в стекло с низким показателем преломления.

Явление полного отражения лучей от границы двух прозрачных сред сначала воспринималось просто как забавный оптический парадокс. Ведь мы привыкли к тому, что сильно отражать свет могут только хорошо отполированные металлы и блестящие пленки, например алюминия или серебра. И вдруг, соединив два прозрачных стекла, получаем поверхность, которая не на 89%, как алюминий, и не на 94%, как серебро, а на все 100% отражает солнечные лучи!

С этим оптическим явлением можно познакомиться не только в физической лаборатории. Для этого достаточно... нырнуть в морскую или речную воду (лучше в летний солнечный день), открыть под водой глаза и посмотреть из воды наверх — на зыбкую, волнующуюся водную поверхность. Мы увидим серебристые блики, кото-

рые на некотором расстоянии от нас сольются в переливающийся блестящий слой, будто к поверхности воды над нами кто-то прислонил серебряное зеркало.

Древнеримский ученый Плиний в своей «Естественной истории», написанной девятнадцать веков тому назад, рассказывает, что ловцы жемчуга, которым мешали серебристые блики, набирали перед погружением в рот оливковое масло и на дне выпускали его изо рта. Пленка масла растекалась по поверхности воды, яркость бликов резко уменьшалась, и ныряльщики гораздо лучше видели все, что лежит на дне моря.

Сейчас мы можем объяснить эту интуитивную техническую находку с научной точки зрения: показатель преломления оливкового масла больше показателя преломления воды, а при переходе лучей из менее плотной среды в более плотную полного их отражения не происходит даже при очень больших углах падения света. Отражение же от границы вода — воздух или вода — оливковое масло совсем невелико, не больше 3—4%.

Непрозрачное зеркало... из двух прозрачных стекол

Трудно установить, в какой стране и в каком году в середине нашего изобретательного века умелец-стеклодув с волшебными руками впервые сумел вытянуть тончайшую нить из тяжелого стекла с большим показателем преломления, окруженную вплотную прилегающей трубкой из стекла с низким показателем преломления. Наверное, еще сложнее выяснить, кто первый решил направить вдоль окольцованной стеклянной нити луч света, вернее, лучик света, похожий на крохотную иголочку портного из страны Лилипутии. Ученые измерили яркость света до и после пробега по стеклянному светопроводу: она практически не изменилась. Световой луч испытал на границе нити с трубкой полное отражение и, несколько раз оттолкнувшись от стенок нити, беспрепятственно достиг конечной цели.

В научных журналах замелькали сообщения об удивительных стеклянных проводах. Появилось новое научное направление, получившее название «волоконной оптики». Спрос на волокна-световоды возрастал с каждым днем. С их помощью, например, удалось осветить погруженную в темноту внутреннюю поверхность желудка больных язвенной болезнью и затем вывести отраженные лучи обратно, что дало возможность врачам установить характер заболевания, узнать точное местоположение язвы.

На больших оптических заводах научились делать совершенно прозрачные кварцевые световоды длиной в несколько десятков километров, и сейчас лучи света несут по стеклянным проводам звуки человеческого голоса и сообщения информационных агентств, факсимильные документы и данные в компьютерных сетях, радио- и телевизионные программы. Такой связи не грозят помехи, не страш-

на сырость подземных ходов. А началось все, казалось бы, с далекого от практики, чисто научного исследования преломления света на границе стеклянной пластины и воздуха...

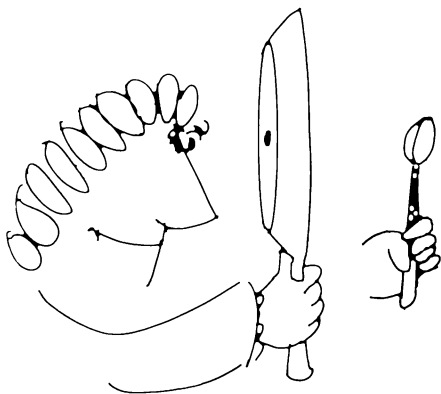
Полное отражение в прозрачном световоде легко показать на уроке. На высокий стол надо поставить наполненную водой большую стеклянную бутылку со стеклянным краном снизу или просто с тонким отверстием в боковой стенке, закрытым пробкой. Сбоку бутылку лучше подсветить яркой лампой, закрытой красным светофильтром, а свет в помещении потушить. Если открыть пробку, то из отверстия в подставленный снизу сосуд польется струя совершенно красной воды. Лучи красного света будут бежать внутри струи, «отталкиваясь» от ее границы с воздухом, имеющим меньший показатель преломления. Красные лучи будут загигаться вместе с падающей струей воды — совсем как в стекловолокне, которое можно скручивать, поворачивать и завязывать узлом, не вредя и не мешая передаче изображения. В этом опыте красный луч легко поменять на любой другой. Перед лампой вместо красного светофильтра ставится, например, зеленый или синий — и цвет льющейся воды послушно изменяется.

А что, если один цвет заменить разноцветной радугой? Светофильтр в этом случае использовать нельзя, ведь он представляет собой пластинку из окрашенного стекла, пропускающую лучи определенного цвета и поглощающую (или отражающую) все остальные.

Расщепленный свет

Радугу в комнате получают с помощью призмы — стеклянного бруска треугольного сечения. Именно опыт с призмой позволил Исааку Ньютону заключить в «Лекциях по оптике» в 1669 году и в мемуаре (так называли в старину небольшие научные статьи и книги) «Новая теория света и цветов», написанном в 1672 году: «Световые лучи различаются в их способности показывать ту или иную особую окраску, точно так же, как они различаются по степени преломляемости... Свойственные какому-либо роду лучей, они не могут быть изменены ни преломлением, ни какой-либо иной причиной... Поэтому мы должны различать два рода цветов: одни первоначальные и простые, другие же сложенные из них... В этом причина того, почему свет обыкновенно имеет белую окраску; ибо свет — запутанная смесь лучей всех видов и цветов, выбрасываемых из различных частей светящихся тел».

Ньютон пропускал свет в комнату через маленькое круглое отверстие в шторе, собирал лучи двояковыпуклой линзой и за линзой ставил призму ребром вниз. За призмой на противоположной стене комнаты возникала радуга из лучей семи основных цветов, причем сильнее всего преломлялся и отклонялся от первоначального пути фиолетовый луч, затем синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый и наконец красный. На пути каждого из отдельных лучей Ньютон поставил вторую призму — цвет лучей не изменился. Ньютон собрал все лучи радуги вместе — вновь возник белый цвет! Убедительное дока-



зательство того, что в белом цвете содержатся все цвета радуги.

Сейчас выводы Ньютона нам кажутся простыми и логичными, а ведь все его предшественники, испытывавшие различные комбинации из линз и призм, считали, что цвета зарождаются в самих призмах. Даже современник и соперник Ньютона, талантливый и наблюдательный Роберт Гук, думал, что цвета появляются вследствие возмущения белым светом

простого волнового движения в призме. По мнению Гука, в солнечном луче не могут содержаться все цвета; ведь это так же странно, писал он, как утверждать, что «в воздухе органических мехов содержатся все тоны». Трудно сделать верный и новый шаг в науке! И, видимо, еще труднее воспринять новое коллегам ученого, связанным привычными представлениями о природе явления.

Стеклянные и кварцевые призмы преданно служат физике и в наши дни. Во многих самых современных оптических приборах всегда находится одна или несколько призм. Особенно в тех приборах, с помощью которых ученые исследуют излучение Солнца и далеких звезд, спектральный состав лучей, испускаемых разнообразными источниками света (вольфрамовыми, ртутными, ксеноновыми лампами). Незаменимы призмы и в тех случаях, когда необходимо узнать спектральный состав света, отражаемого или поглощаемого тканями, листьями, металлами, всеми многочисленными поверхностями, окружающими нас в жизни.

Опыты Ньютона не только положили начало большим направлениям современной оптики. Они привели самого Ньютона и его последователей к печальному выводу: в сложных оптических приборах с большим количеством линз и призм обязательно происходит разложение белого света на его красивые цветные составляющие и всякое изображение будет сопровождаться пестрой каймой, искажающей представление о рассматриваемом предмете.

Предвидение оправдалось на практике: наблюдениям через подзорные трубы, микроскопы и телескопы из нескольких линз всегда мешали цветные блики и полосы. Явление получило название «хроматической аберрации», и сам Ньютон настолько не верил в возможность избавиться от него, что занялся конструированием отражательного телескопа, в котором вместо линз использовались металлические вогнутые зеркала, собирающие свет.

Ньютон разработал несколько конструкций такого телескопа. В одной из них наблюдение за звездами проводилось через боковое отверстие основного корпуса: плоское зеркало, установленное под углом 45° к оптической оси, выводило к наблюдателю лучи, собранные в фоку-

се большого вогнутого металлического зеркала. За создание оригинальной конструкции телескопа Исаак Ньютон в 1671 году был избран членом научного Королевского общества. Эта работа Ньютона казалась его коллегам бесспорной...

Ловушка для лучей

Однако другие ученые все же продолжали попытки создать неискажающую оптическую систему из прозрачных материалов. Исследования строения человеческого глаза, развитие теории оптических явлений и совершенствование математического аппарата для их расчета, бесчисленные эксперименты в университетских лабораториях и оптических мастерских привели наконец к успеху. Выдающийся русский математик Леонард Эйлер в своей работе «Новая теория света и цветов», вышедшей в свет в 1746 г., показал принципиальную возможность исключения хроматической аберрации линз. Он рассчитал, как следует подбирать линзы из стекла с различными коэффициентами преломления, чтобы исправлять аберрации в системе.

Опираясь на расчеты Эйлера, английский оптик Джон Долланд сумел в 1758 г. изготовить первую так называемую ахроматическую трубу, включающую две линзы из разных сортов стекла. Сейчас линзовая оптика располагает десятками сортов стекла с различными оптическими свойствами. Это дает широкий простор для конструирования и изготовления различных приборов и устройств — телескопов, микроскопов, фото- и киноаппаратов, спектрометров, линий оптической связи, лазерных систем, в которых аберрации сведены к минимуму. Каждый слой стекла в составной линзе выполнял строго определенную роль: если один слой сильно преломлял лучи, давая в фокусе размытое цветное изображение, то следующий за ним — рассеивал цветные лучи, разводил их, воссоздавая неискаженное изображение, а еще один, третий слой посылал к наблюдателю удобный для рассмотрения пучок строго параллельных лучей.

Мореплаватели и астрономы получили оптические инструменты, еще ближе придвигавшие к пытливому человеческому глазу необитаемые острова и далекие звездные миры.

Оптики стали создавать все более сложные микроскопы, позволившие увидеть крохотных жителей микромира, населяющих его бесчисленных мельчайших существ, обитающих в воде и в воздухе. Ведь с тех пор как Антони Левенгук в середине XVII века с помощью линз диаметром 1—2 мм впервые разглядел микроорганизмы, невидимые простым глазом, ученых не оставляло желание познакомиться с их жизнью.

Чем тщательнее изучают историки науки труды Ньютона, тем больше они находят свидетельств об исследованиях, продолжение и развитие которых много лет спустя позволило другим ученым прийти к поразительным открытиям. Недаром академик С. И. Вавилов считал необходимым даже в 40-х годах XX века перевести написанные по-латыни «Лекции об оптике» Ньютона на русский язык. Про-

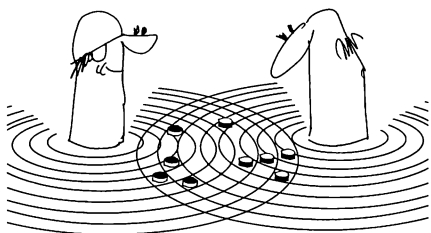
сто и точно поставил Ньютон опыт по наблюдению взаимодействия, или, как говорят оптики, интерференции световых лучей между собой.

Еще в древности наблюдения за поведением света говорили об обратном: два световых луча, пересекаясь, продолжают идти своей дорогой дальше как ни в чем не бывало. Такие наблюдения усиливали веру в бестелесность, нематериальность света. Но всегда ли световые лучи не замечают друг друга? Ньютон создал клиновидный воздушный зазор, положив тонкую линзу (выпуклой поверхностью вниз) на плоскую стеклянную пластинку, и осветил зазор сначала белым светом, а затем по очереди всеми основными цветными лучами. В условиях, искусно созданных Ньютоном, лучи, отражаясь от стеклянных границ воздушного клина, явно взаимодействовали между собой: при освещении белым светом в зазоре появились чередующиеся цветные и радужные кольца. При пропускании через зазор цветных лучей, предварительно полученных с помощью призмы, в нем возникали светлые и темные кольца. Появление цветных колец и полос в тонких слоях окислов металлов или в пленках нефти, разлитых на поверхности воды, конечно, замечали многие до Ньютона. Описывал это явление и Роберт Гук, но лишь Ньютон поставил эксперимент, позволивший ему измерить и выразить в цифрах связь между диаметром цветных колец и толщиной слоя пленки или воздушного зазора в этом месте.

Исследовал Ньютон и явления, происходящие при дифракции света. Так Франческо Гримальди, профессор иезуитской коллегии в Болонье, назвал огибание волнами непрозрачных препятствий. Это свойство света мы редко наблюдаем в повседневной жизни, поскольку заметить огибание препятствий волной можно только в том случае, когда размеры препятствий сопоставимы с длиной волны, а ее длина чрезвычайно мала. Хотя свет уличных фонарей, проходящий через тонкую тюлевую занавеску, иногда расплывается в наших глазах в пятно, окаймленное цветными кольцами, а излучение настольной лампы, наблюдаемое через узкую щель между двумя пальцами, состоит из светлых и темных полос, но мало кто знает, что это и есть проявления дифракции.

Ньютон пропустил свет через очень тонкое отверстие (диаметром 0,6 мм) и в полученном слегка расходящемся конусе лучей поставил волос толщиной всего в 90 микрон! Волос отбрасывал на стену тень

с нерезкими краями, окаймленную цветными полосами, причем размеры тени и полос не менялись при замене волоса проволокой той же толщины. Ньютон оставил эти эксперименты без обычных для него детальных выводов, видимо, понимая, что здесь скрываются



явления, требующие дополнительных исследований, которые он не мог провести. Лишь в XIX веке в науку пришли два выдающихся исследователя и достроили заложенное Ньютоном здание классической оптики.

Начало бесконечной дороги

Они были очень не похожи — англичанин Томас Юнг и француз Огюстен Френель. Разносторонний ученый, светский человек, врач, гимнаст и музыкант Юнг и дорожный инженер, сравнительно поздно начавший интересоваться наукой, Френель.

«Добрый гений» Френеля академик Франсуа Араго, вовремя заметивший выдающийся талант ученого и всю жизнь помогавший ему, тем не менее писал в своих записках-воспоминаниях: «Огюстен Френель учился так медленно, что восьми лет едва умел читать... Он никогда не чувствовал склонности к изучению языков, не любил знаний, основанных на одной памяти, и запоминал то, что было доказано ясно и убедительно».

Биографы же Юнга рассказывают о показательном случае, когда его в 14 лет попросили написать несколько фраз по-английски, чтобы проверить, умеет ли он хорошо писать. Юноша пробыл в комнате для испытаний немного дольше обычного. Учитель Юнга уже начал смеяться над неумением своего ученика, когда вышедший из соседней комнаты Юнг протянул ему листок, на котором заданные фразы были не только переписаны, но и переведены на девять (!) разных языков.

Объединяла обоих ученых любовь к оптике. Оба были благородными людьми, страстно стремились к выяснению истины и не спорили о приоритете. «Мне противна оспариваемая слава, — писал Френель в письмах к брату в 1810 году, — ...я почувствовал, что на упрек в плагиате надо отвечать новыми открытиями».

В первой же своей работе по оптике Томас Юнг убедительно доказал, что хрусталик человеческого глаза представляет собой линзу с переменной кривизной. Особые мускулы растягивают и сжимают хрусталик, позволяя получать на сетчатке глаза резкое изображение как удаленных, так и близких предметов. Юнг выполнил это оптико-медицинское исследование, когда ему было всего 20 лет, и Королевское научное общество избрало его своим членом.

Следуя прекрасной традиции оптиков прошлого, Томас Юнг в совершенстве овладел искусством точного физического эксперимента, однако прибегал к нему не всегда: так, например, опыты Ньютона он не повторял, считая их безупречными, а просто использовал количественные соотношения Ньютона для расчета длины волны световых лучей. Юнг считал, что свет — это волнообразное движение особого вещества, эфира, между источником света и наблюдателем, подобно ряби на поверхности моря. Лучи разного цвета отличаются длиной волны, кратчайшими расстояниями между двумя соседними всплеска-

ми или впадинами волн. Расчет ученого опирался на проведенный им научный анализ, объяснивший наконец, как создаются условия, в которых происходит интерференция света, почему лучи, до сих пор «не обращавшие внимания друг на друга», начинают взаимодействовать.

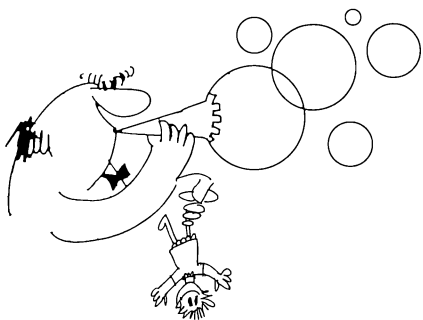
Вот что писал Юнг в «Курсе лекций по натуральной философии»: «Для того чтобы действия двух потоков света могли таким образом сложиться, необходимо, чтобы они были порождены одним источником и чтобы они достигали одной точки разными путями по направлениям, не сильно различающимся друг от друга. Это различие в путях может получаться с помощью дифракции, отражения, преломления либо с помощью любой комбинации этих явлений». Юнг понял, что взаимодействовать между собой могут только очень похожие лучи с близкой длиной волны и почти одинаковым размахом колебаний. А ведь еще Ньютон говорил, что «свет — запутанная смесь лучей всех видов и цветов»!

«Ведь все взрослые были когда-то детьми»

Как же из «запутанной смеси» отобрать лучи одного сорта? Самый простой способ выполнить эту точнейшую оптическую процедуру — выделить один луч, который, отразившись от какого-либо препятствия, будет взаимодействовать фактически сам с собой.

Рассказывают, что Юнг разгадал причину интерференции, вспомнив радужные переливчатые мыльные пузыри, которые все так любят в детстве. Это вполне естественно, потому что детские впечатления — самые сильные. Недаром прекрасный французский писатель Антуан де Сент-Экзюпери говорил, что мы родом из детства... «Ведь все взрослые были когда-то детьми, только мало кто из них об этом помнит», — писал он в предисловии к одной из своих книг. Тонкая мыльная пленка «отбирает» из множества лучей только те, которые имеют длину волны, в небольшое число раз превышающую ее толщину. Эти лучи как бы попадают в ловушку и, многократно отражаясь от «стенок» пленки, от ее границ с воздухом, бегут вдоль пленки, постепенно затухая. При этом отраженные от стенок лучи взаимодействуют между собой и с новыми лучами, падающими на красочный мыльный шар.

Все эти лучи, как говорят физики, «когерентны», очень похожи, что позволяет им легко отличать друг друга от остальных лучей, «замечать» друг друга. Там, где всплеск волны одного луча приходится на впадину другого, лучи гасят друг друга, образуя черные полосы. Когда же впадины или всплески двух лучей совпадают, интенсивность света увеличивает-



ся, возникают яркие белые или цветные полосы, как это и происходило в тонком воздушном клиновидном зазоре в опыте Ньютона.

Переливы цветов в мыльной пленке теперь становились совершенно понятными. Там, где пленка была тонкой, усиливались видимые лучи с малой длиной волны — фиолетовые, синие; где толщина ее становилась больше — появлялась желтая, оранжевая, красная окраска.

Томас Юнг придумал свой, еще более простой, чем у Ньютона, способ наблюдать интерференцию: солнечный свет падал на штору, в которой на небольшом расстоянии друг от друга делались два булавочных прокола — на белом экране, расположенном в нескольких метрах от шторы, появлялась яркая интерференционная картина из чередующихся темных, белых и цветных полос. Тонкие отверстия отбирали из света лучи с близкими длинами волн; эти лучи распространялись слегка расходящимися конусами из обоих булавочных проколов и в нескольких метрах от шторы начинали пересекаться и взаимодействовать.

Опыт Юнга легко повторить самим, причем его можно немного видоизменить: взять яркую настольную лампу — источник света, за ней поставить составную линзу, после которой лучи в потоке света станут параллельными друг другу, а вместо шторы использовать закопченное стекло. В слое сажи надо получить два тонких просвета, расположенных рядом (легче и точнее всего это можно сделать с помощью двух острых бритв, сложенных вместе), — и оборудование для оптических экспериментов готово.

Значения составляющих белый свет длин волн, найденные Томасом Юнгом, совпали с результатами Ньютона и полностью подтвердились современными измерениями. Радуга цветных полос видимых лучей солнечного спектра занимает интервал длин волн от 0,4 до 0,75 микрон (напомним, что микрон — тысячная доля миллиметра). Фиолетовому, наиболее сильно преломляемому цвету, соответствует длина волны 0,4 микрона; красному, слабо преломляемому, — 0,75 микрона.

Продолжение полезных споров

Из представлений о свете как о волновом движении эфира исходил и Огюстен Френель. Первое время он работал в сельской глуши и, совершенно не подозревая об опытах Юнга, повторил их. Френель объяснял явление огибания светом препятствий так же, как и Юнг, взаимодействием световых лучей. Затем, уже работая в Париже, Френель получил математические уравнения, точно описывающие оптические процессы, происходящие на границе двух различных оптических сред.

Выведенные Френелем простые формулы для определения коэффициента отражения света от прозрачных диэлектриков до сих пор широко используются оптиками. Рассматривая свое отражение в воде, шурясь от бликов солнечного света, разлетающихся от весенних

луж на асфальте, поворачивая разными гранями кусочек стекла, слюды, пластмассы, мы, конечно, не думаем о том, что еще в начале прошлого века все эти неуловимые, тонкие, поэтические явления природы были облечены Огюстеном Френелем в строгие законы и формулы. Если бы кто-нибудь сумел подсчитать, как часто применяются в оптических работах различные формулы, то формулы Френеля, несомненно, заняли бы в этом списке одно из первых мест.

Вместе с Араго Френель подробно исследовал поведение света в прозрачных кристаллах. Однажды, после доклада Френеля об огибании светом препятствий на заседании Французской академии наук знаменитый физик и математик Пуассон, которому волновая теория света казалась неубедительной, заявил, что если Френель прав, то в центре тени, образованной на экране, отстоящем от круглого непрозрачного предмета на достаточном расстоянии, должно наблюдаться светлое пятно. Френель, ранее не замечавший этого пятна, немедленно поставил опыт, доказавший, что светлое пятно действительно существует, и доложил об этом на следующем заседании академии!

В своих представлениях о природе света Юнг и Френель были последователями замечательного голландского ученого Христиана Гюйгенса, который считал, что «...свет заключается в движении вещества, которое находится между нами и светящимся телом».

В «Трактате о свете», опубликованном в 1690 году, Гюйгенс писал: «...когда мы видим светящийся предмет, это не может происходить вследствие переноса материи, которая доходит до нас от этого предмета наподобие пули или стрелы, пересекающей воздух... привести нас к пониманию способа распространения света может то, что нам известно о распространении звука в воздухе».

Волновые представления Гюйгенса часто противопоставляют взглядам Ньютона, писавшего о частицах, или, как он их называл, «корпускулах», света. Это не совсем справедливо, особенно в отношении Ньютона, который о природе явлений всегда высказывался осторожно, предпочитая говорить только о твердо установленных физических фактах. Вот типичная для Ньютона сдержанная фраза: «Справедливо, что я заключаю из моей теории о телесности света, но я делаю это без всякой абсолютной определенности...»

Повороты на пути к истине

Со времени начала первых строго научных оптических экспериментов ученые различными путями, часто ошибаясь и отступая, шли к пониманию того, что такое свет. Свет так разнообразен в своих проявлениях, что для объяснения почти каждого нового его свойства, обнаруженного наукой, приходилось привлекать то представление о свете как о потоке частиц, то идею о волнах в прозрачном всемирном эфире.

Корпускулы Ньютона хорошо объясняли прямолинейность распро-

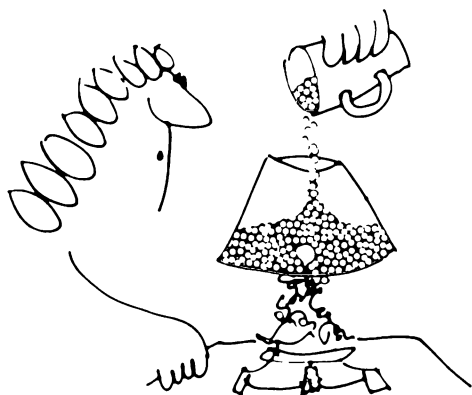
странения света и его тепловое действие, а волны Гюйгенса оказались удобными при анализе явлений взаимодействия световых лучей и огибания ими маленьких непрозрачных предметов.

Преломление света тоже очень удачно «вписывалось» в теорию Гюйгенса, дополненную трудами Френеля. Световая волна от источника излучения, похожая на растущий в размерах воздушный шарик, достигает границы раздела двух прозрачных сред, и в каждой точке пересечения возникает вторичная сферическая волна. Огибающая, или касательная, вторичных волн определяет направление преломленной волны в веществе.

Из теории Гюйгенса—Френеля вытекало, что скорость света в более плотном веществе должна быть меньше, чем в воздухе. Ньютон же считал, что световые corpusculi сильнее «притягиваются» частицами воды или стекла, чем частицами воздуха, и скорость света возрастает при переходе из воздуха в более тяжелую среду.

Измерения скорости света в различных средах, выполненные в середине XIX века французскими физиками Физо и Фуко, показали, что правы были Гюйгенс и Френель. Волновая теория света праздновала победу! В научных статьях томов энциклопедического словаря Брокгауза и Эфрона, выпущенных в самом конце XIX века, утверждалось, что существование всемирного эфира — проводника световых волн — считается физиками абсолютно доказанным. Но наука не позволяет идеям долго оставаться незыблемыми. Обнаруживается фотохимическое действие света, его способность расщеплять молекулы солей серебра и некоторых других металлов. Изобретается фотография.

Немецкий физик Генрих Герц и русский профессор А. Г. Столетов точными опытами доказывают, что свет способен вырвать из металла неведомые заряженные частицы, которые вскоре получают название электронов. Значит, свет обладает немалой энергией? В рамках волновой теории не удастся истолковать новые явления. И ученые вспоминают о corpusculis Ньютона. Пока оптики-теоретики пытаются создать всеобъемлющую теорию, объясняющую обнаруженные свойства света, оптики-экспериментаторы конструируют новые оптические инструменты и приборы. Из научных опытов рождаются полезные изобретения. Истоки многих современных устройств можно найти в работах основоположников классической оптики.



Рука помощи, протянутая из... девятнадцатого века

Однажды перед Френелем возникла чисто практическая задача — создать линзу для маяка. Линза должна собрать лучи, испускаемые лампой маяка во все стороны, и послать сильный сноп света в одном направлении. Такая линза была бы огромной, тяжелой и дорогой, да и вряд ли кто-нибудь из мастеров взялся бы за ее изготовление... Френелю пришла счастливая идея: составить линзу из нескольких призм, склеить ее! Каждая из призм должна быть при этом повернута на определенный угол, ведь чем дальше она расположена от лампы, тем сильнее нужно преломить световой луч, чтобы он после линзы пошел «прямой дорогой».

Идея осуществилась. Маяки Франции, а затем и всего мира во много раз увеличили силу своих лучей, направляемых навстречу кораблям. Многим морякам свет маяков с линзами Френеля помог найти дорогу домой.

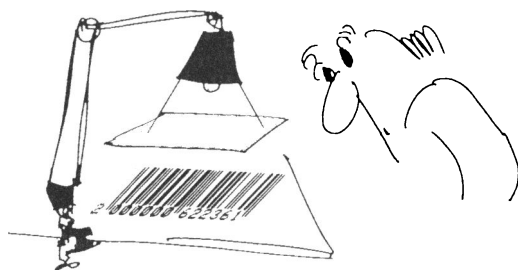
И вот ученые снова вспомнили об изобретении Френеля. Стараясь заменить уголь и нефть, энергетики всего мира ищут способы, как использовать энергию «вечных» источников — Солнца, ветра, морских приливов. У солнечного излучения, пожалуй, лишь один недостаток — оно слишком рассеяно по поверхности Земли и его нужно собрать, сконцентрировать.

Металлические зеркала, с помощью которых солнечные лучи обычно фокусируют на преобразователе в тепловую или электрическую энергию, очень быстро портятся от дождя, пыли, влаги. Стекло лучше выдержало бы все невзгоды погоды. И здесь ученые повторили весь путь рассуждений Френеля. Различие было небольшим: Френель сумел лучи, посылаемые точечным источником света, превратить в пучок параллельных лучей, а теперь параллельные солнечные лучи требовалось собрать в одну точку.

Линзы Френеля прекрасно справились и с этой задачей. Ученые смогли изготовить их не только из стекла, но и из прозрачной светостойкой пластмассы. Эти линзы похожи на долгоиграющие грампластинки. Лишь внимательно приглядевшись, замечаешь на их поверхности маленькие призмочки в виде концентрических кругов, будто процарапанные острой иглой. Впрочем, разглядывать линзы Френеля лучше в пасмурную погоду: если солнце выглядывает из-за туч, то в горячем фокальном пятне, где собираются его лучи, расположенном примерно в метре от линзы, мгновенно вспыхивают ткань, сухая трава, бумага.

Плоды заботливо посаженных семян

Томас Юнг занялся разгадкой явления интерференции, привлеченный красочностью переливов света в тончайших мыльных и нефтяных пленках, в слюдяных и перламутровых пластинках. Ему, вероятно, было бы трудно себе представить, что его потомки будут не толь-



ко любоваться интерференцией тонких пленок, но и использовать ее в различных целях.

Из расчетов и опытов Юнга можно было сделать вывод, что в тех местах, где наблюдается черная полоса в картине интерференции, падающий луч определенной длины волны гасится лучом, отразившимся от внутренних границ пленки; прошедший же сквозь пленку луч усиливается за счет взаимодействия с лучами внутри пленки. На это последнее обстоятельство не обращали внимания более 100 лет.

И только в середине XX века ученые поняли, что, нанеся тончайшую интерференционную пленку на поверхность стекла или любого другого прозрачного вещества, можно значительно увеличить пропускание света этими материалами. Процесс получил название «просветление оптики».

Каждая даже самая прозрачная линза из стекла отражает от обеих граней 8% света. Но ведь в современных микроскопах, телескопах, кинокамерах, проекционных аппаратах может быть до 15—20 таких отражающих поверхностей. Подсчитайте, как мало света попадало бы, например, на белый экран в кинотеатре, если бы вовремя не изобрели просветление оптики.

С просветляющими пленками легко познакомиться. Для этого достаточно посмотреть под небольшим углом на объектив фотоаппарата. По сине-фиолетовому отблеску стекла можно понять, что на его поверхность в процессе изготовления была нанесена тончайшая пленка кремнезема или фторида магния, пропустившая внутрь фотоаппарата зеленые лучи, к которым больше всего чувствителен наш глаз, и оставившая в отраженном световом потоке лишь синие и фиолетовые лучи.

Просветляющие пленки на стекле, конечно, прочнее и долговечнее мыльных и нефтяных пленок, которым они обязаны своим появлением на свет. Цвет просветленных стекол не меняется со временем, не зависит от внешних условий. Зыбкую и изменчивую интерференцию удалось остановить в самое прекрасное мгновение!

Не осталось без внимания исследователей и явление дифракции. Расплывчатая тень от проволоки и волоса в опытах Ньютона и узкие пучки от двух маленьких отверстий в экспериментах Юнга были окаймлены цветными полосами и кольцами. Обходя препятствия, огибая края отверстий, слегка отклоняясь от прямолинейного пути, свет разделялся на различные цвета.

А что, если тонкие щелевидные отверстия чередовать с узкими непрозрачными полосками? Если через такую оптическую решетку пропустить свет, а за решеткой поставить дополнительную линзу, то цветоделительные свойства дифракции можно использовать для получения спектров любых источников излучения.

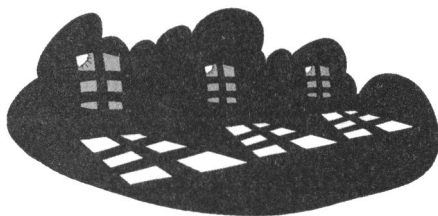
На экране, помещенном за новым оптическим инструментом, получившим название дифракционной решетки, можно было наблюдать удивительно яркие и чистые цвета спектра, не уступавшие полученным с помощью призмы.

Немецкий оптик Йозеф Фраунгофер в начале прошлого века впервые применил дифракционную решетку для анализа спектрального состава солнечных лучей. Свою первую оптическую решетку он сделал, наматывая тончайшую проволочку на два расположенных рядом винта. Затем Фраунгофер изготовил более совершенную решетку, нанося штрихи на золотую пленку, покрывающую стекло.

Дифракционная решетка позволила Фраунгоферу не только получить спектр Солнца, но и обнаружить на фоне сплошного солнечного спектра узкие провалы — темные линии, возникшие из-за поглощения на пути к Земле части испускаемого поверхностью Солнца света возбужденными и ионизированными парами металлов в его атмосфере.

Впоследствии ученые научатся делать решетки, у которых на длине в один миллиметр уместится более тысячи штрихов!

Фраунгоферовы линии войдут в историю науки; оптики наряду с призмами станут все чаще использовать дифракционные решетки, а физики, химики и астрономы поймут, что можно, анализируя спектр излучения раскаленного вещества, узнать его химический состав, даже если это вещество звезд, удаленных от Земли на многие миллиарды километров.



НЕВИДИМЫЙ СВЕТ, НЕСЛЫШИМЫЙ ЗВУК



Мы представляли себе атомы, частицы, колебания и волны, которых никогда не видит глаз, не слышит ухо и которые можно различить только при помощи воображения.

Дж. Тиндаль

Представим себе несколько фотографий. На одной из них изображен оперный оркестр в углублении перед сценой. Взгляды всех музыкантов устремлены на дирижера, они играют сосредоточенно и вдохновенно. И лишь один из музыкантов, видимо, воспользовавшись паузой в своей партии, тихо двигает к себе смычком... ботинок ничего не подозревающего соседа. На второй фотографии юноша и девушка, нежно обнявшись, сидят на скамейке на берегу реки и сосредоточенно смотрят вдаль. На этом снимке удивительным выглядит лишь темное небо и очень черная вода реки, как будто надвигается гроза. На третьей фотографии виден зал кинотеатра. Сидящие в зале глядят на сцену, а двое в задних рядах спокойно спят.



Что общего в этих фотографиях? Их объединяет только одно: все они сняты в темноте, сделаны с помощью невидимых инфракрасных лучей. Влюбленные на берегу реки, музыканты, зрители, сидящие в темноте, даже не подозревали, что их в это время освещали невидимыми инфракрасными лучами и фотографировали.

Как увидеть невидимое?

Физика нашего времени открыла в природе множество невидимых глазом излучений. Некоторые из них широко используются в технике, медицине и повседневной жизни — радиоволны, рентгеновские лучи, ультразвук, радиоактивные излучения. Человек теперь значительно чаще применяет их, чем Природа.

Невидимым оптическим лучам не везло. Люди упорно не хотели их замечать, хотя ими буквально наводнен окружающий мир. Солнце посылает на Землю невидимых оптических лучей — ультрафиолетовых и инфракрасных — больше, чем видимых. Любое тело, нагретое выше температуры абсолютного нуля (а к таким телам относятся все без исключения тела на Земле!), испускает во все стороны... невидимые инфракрасные лучи. «Даже кусок льда — источник света, но света невидимого», — писал академик С. И. Вавилов.

К чести ученых следует сказать, что они интуитивно чувствовали: видимые глазом лучи окружены океаном невидимых излучений. Знаменитый Тит Лукреций Кар в поэме «О природе вещей», созданной в I веке до нашей эры, уже высказывал предположение, что у Солнца есть множество жарких, сильных и невидимых лучей. В другом своем рассуждении Лукреций логично объясняет: невозможность увидеть невидимое не означает, что его нет, достаточно знать и видеть хотя бы косвенные следы существования невидимых частиц или излучений. Поэт и ученый приводит в подтверждение своей мысли образный пример: «Наше платье, — пишет он, — намокает и затем высыхает на солнце, хотя ничей глаз не может видеть ни втягиваемых, ни испаряемых частиц воды».

Даже в настоящее время очень непросто поставить опыт, убедительно доказывающий существование невидимых лучей. Хорошо известно, что от общего излучения лампы накаливания, висящей над столом, видимые лучи составляют всего несколько процентов, а все остальные — невидимые. Но как разделить свет лампы на видимые и невидимые лучи? Надо иметь инфракрасный фильтр, поглощающий видимые лучи и пропускающий невидимые, например монокристаллические пластинки кремния или теллурида кадмия. Не у многих дома есть такие пластинки.

Легче поставить опыт с закрытой плиткой, металлическая поверхность которой изнутри нагревается несколькими спиралями. Такая плитка согревает все вокруг — в том числе и окружающий воздух — в основном инфракрасным невидимым излучением. Для правильного опыта необходимо отделить невидимое излучение плитки от потока нагретого воздуха. Здесь может помочь стеклян-

ная пластинка или еще лучше — тонкая полиэтиленовая пленка, хорошо пропускающая инфракрасные лучи.

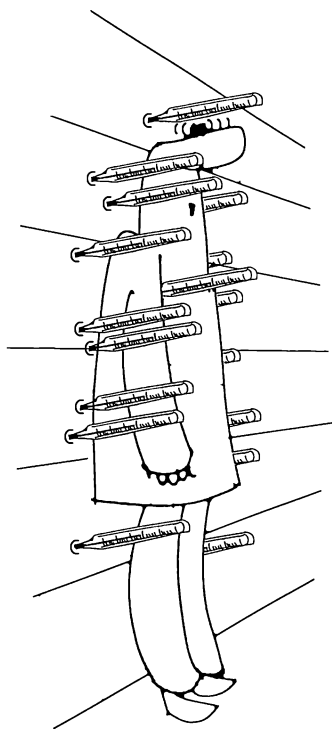
Если над плиткой на расстоянии двух-трех сантиметров натянуть пленку, не пропускающую вверх согретый плиткой воздух, то ладонь руки, простертая над пленкой, все же явственно почувствует жар, который донесут до нее прошедшие сквозь пленку невидимые инфракрасные лучи. Опыт лучше провести быстро, ведь полиэтиленовая пленка далеко не самый теплостойкий материал на свете.

Когда же ученые обнаружили, что в излучении Солнца есть невидимые лучи? Этот исторический опыт был поставлен в 1780 году, более чем на восемнадцать столетий позже предсказаний Тита Луcreция Кара.

Судьба великих открытий

Известный астроном Уильям Гершель решил измерить количество энергии, которое заключено в отдельных частях солнечного спектра. Пропустив через отверстие в шторе окна узкий луч солнечного света и направив его на линзу и треугольную призму, он получил на столе спектр, состоящий из разноцветных полос основных цветов, образующих видимый глазом белый солнечный свет. На столе сиял яркий прямоугольник, с одной стороны окаймленный фиолетовым цветом, с другой — красным. Этот опыт до Гершеля делали многие ученые, в том числе и великий Ньютон.

Гершель положил в некоторые участки спектра хорошо отградуированные термометры. Термометры нагрелись и показали немного разную температуру. Но больше других нагрелся термометр, лежавший рядом с красной полоской света — в темноте! Гершель несколько раз повторил опыт. Если он сдвигал термометры далеко в сторону от красных лучей, термометр начинал показывать комнатную температуру; когда термометр освещали непосредственно красные лучи спектра, его показания становились значительно меньше тех, которые устанавливались на его шкале в темноте рядом с красными лучами. Сомнений быть не могло: в солнечном излучении есть невидимые лучи, которые преломляются немного хуже, чем красные лучи (значит, у них большая длина волны), и эти лучи несут с собой заметную, весомую часть энергии Солнца.



Несмотря на всю тщательность описанного опыта и полученные очевидные результаты, вероятно, все же сама мысль о каких-то невидимых лучах, падающих на нас непрерывным потоком вместе с солнечным светом, была столь непривычна, что Гершель двадцать лет хранил молчание и опубликовал данные об открытии им в спектре Солнца инфракрасных лучей лишь в 1800 году. Если бы он промолчал еще несколько лет, то ему уже не принадлежала бы честь первым открыть невидимые лучи в спектре Солнца: почти сразу после публикаций Гершеля появилось сообщение, что слева от цветного полосатого спектра Солнца обнаружены невидимые ультрафиолетовые лучи, преломлявшиеся сильнее, чем фиолетовые. Действие этих лучей становится особенно заметным в горах, где атмосфера гораздо прозрачнее, чем на равнине, для энергичных невидимых лучей — более фиолетовых, чем сами фиолетовые. Поднимаясь в горы все выше и выше, замечаешь, как зеленые растения будто отступают перед натиском каменных глыб и песчаных осыпей. На самом деле им все труднее и труднее справляться с разрушительным влиянием ультрафиолетового излучения Солнца.

Ученый секретарь Французской академии, друг Френеля, оставивший увлекательные записки-воспоминания о своих коллегах, академик Франсуа Араго писал еще в конце пятидесятих годов прошлого столетия о редкой «способности удивляться кстати», позволяющей людям, осененным этим даром, замечать не видимое другими.

Вера, основанная на... измерениях

Способность видеть «невидимое» передалась и сыну первооткрывателя инфракрасных лучей — Джону Гершелю. Следуя семейной традиции, он уделял основное время исследованиям в области астрономии и, конечно, не мог не увлечься изучением инфракрасных лучей.

Гершель сделал еще один, на первый взгляд небольшой, но необходимый шаг в познании природы невидимых лучей — доказал экспериментально, что инфракрасное излучение, так же как и видимое, содержит лучи с разной длиной волны, которые несут с собой различное количество энергии. Повторяя опыт своего отца, Джон Гершель положил в темноту за красным краем радужного видимого спектра не термометр, а полоску пористой бумаги, смоченной подкрашенным спиртом. Спирт испарялся неодинаково в различных местах, и бумага высыхала неравномерно, что наглядно показывало: инфракрасные лучи — это лучи с разной энергией и разной длиной волны.

Ученые стали изобретать способы измерения энергии новых лучей, изучать прозрачность материалов по отношению к ним. Открытия последовали одно за другим. Способность тончайшего лепестка платины, покрытого слоем сажи, проводить электрический ток, как оказалось, сильно зависит от его температуры, а следовательно от энергии лучей, «освещающих» невидимым светом поверхность лепестка. Хрупкий прибор — болометр, сердцем которого стал лепесток

платины, оказался надежным и чувствительным помощником ученых в путешествии по невидимым волнам.

Ультрафиолетовые лучи легко обнаруживали себя, если в их «поле зрения» попадали стеклянные пластинки со слоем люминофора, состоящего из мелких кристалликов сернистого цинка с примесями марганца, меди, железа. Пластинки ярко светились голубым, желтым, красным светом, казалось бы, без всякой причины в присутствии ультрафиолетовых лучей!

Ученым хотелось не только увидеть невидимые лучи, но и измерить их энергию. Эту мысль точно выразил в своей книге «Оптические иллюзии» английский ученый-оптик С. Толанский: «Слишком долго говорили: «Увидеть — значит поверить». Надо это выражение заменить другим: «Измерить — значит поверить». Но с чем сравнить измеряемую энергию? Где взять точку отсчета, эталон сравнения? Как трудно сделать эталон даже такой, казалось бы, осязаемой и легко наблюдаемой характеристики тела, как длина. Сколько было преодолено препятствий при создании эталонного метра... Что же могло служить эталоном при измерении количества неуловимых лучей? Вероятно, очень черная поверхность, поглощающая любые оптические лучи, в том числе и невидимые.

Замечательная дырка

Немецкий физик Г. Кирхгоф предложил: надо считать примером абсолютно черного тела, испускающего лучи всех длин волн, дырку-отверстие в стенке зачерненного внутри ящика! Кирхгоф доказал, что способность любого тела испускать как видимые, так и невидимые лучи полностью определяется тем, какое количество лучей той же длины волны оно поглощает. Отверстие в стенке ящика поглощает все падающие на него лучи — и излучать те же лучи (при нагреве ящика до необходимой температуры) отверстие будет сильнее, чем любое другое сложное устройство. Есть очень наглядный опыт. На стенке тонкой полированной платиновой трубки, имеющей маленькое отверстие, рядом с этим отверстием рисуют краской из оксида железа слабо отражающий красноватый крест. Трубку нагревают электрическим током, она начинает светиться, и все убеждаются в том, что слабее всего светятся платиновые стенки, сильнее — крест из окиси железа, а ярче всего сияет черное отверстие! В точном соответствии с законом Кирхгофа: чем меньше отражает тело, тем больше оно поглощает и тем сильнее излучает.

Используя небольшие печки с черными внутренними стенками и маленькими круглыми отверстиями как эталоны невидимого излучения, ученые смогли сравнить источники излучения друг с другом, определить способность материалов поглощать невидимые лучи. Прозрачное стекло оказалось совершенно непрозрачным для большинства невидимых лучей, а серые непрозрачные кристаллы полупроводников, таких как, например, кремний и германий, почти свободно пропускают невидимые лучи.

Прозрачны для инфракрасных лучей и кристаллы поваренной соли, из которых, в основном, делают большие треугольные призмы для инфракрасной оптики. С помощью таких призм невидимые лучи удастся «разложить» по длинам волн, получить радугу невидимых цветов, успешно повторить с ними опыт, который Ньютон выполнил с видимыми лучами. Вот какую важную помощь ученым оказала обычная соль! Пришлось даже примириться со склонностью поваренной соли слегка набухать, поглощая влагу воздуха. Кристаллы поваренной соли в перерывах между экспериментами хранят бережнее, чем драгоценные камни, — под колпачками из стекла, внутри которых помещают вещества, осушающие воздух.

Поиски новых источников инфракрасного излучения привели к еще более неожиданным результатам.

Невидимки рядом

Итак, ученые с удивлением убедились, что все тела (без исключения!) испускают невидимые инфракрасные лучи. Если бы наши глаза видели невидимое, то мы очутились бы в странном мире светящихся предметов — будто вокруг все время горит иллюминация. Невидимые инфракрасные лучи, которые Вильям Гершель обнаружил в спектре Солнца, оказывается, «живут» и на Земле, окружая нас в буквальном смысле со всех сторон.

Как это похоже на историю открытия солнечного газа гелия, который астрономы обнаружили на Солнце, анализируя спектр излучения согревающей нас звезды во время солнечного затмения 1868 года. Только через двадцать семь лет химики смогли найти этот газ на Земле!

Стрелка прибора, измеряющего невидимые лучи, показывает достаточно сильное тепловое излучение, когда к окошку прибора, где помещен лепесток платины, подносят... ладонь руки. Оказывается, любая клеточка поверхности нашего тела испускает невидимые инфракрасные лучи. И чем быстрее мы двигаемся, тем больше невидимых лучей излучается с поверхности, помогая коже охлаждаться и сохранять температуру тела в разумных, удобных для организма пределах.

Невидимые инфракрасные лучи возникают благодаря движению молекул и атомов около своего равновесного положения. Любая молекула делает все время небольшие шажки — вправо, влево, вверх, вниз — в сторону от своего обычного места, определяемого химическими связями внутри вещества. Эти движения могли бы полностью прекратиться только при абсолютном нуле — при температуре $-273,16^{\circ}\text{C}$, и только тогда исчезнет невидимое инфракрасное излучение! Но, как следует из третьего начала термодинамики, это не произойдет никогда.

Нагрев тела приводит к увеличению скорости атомно-молекулярных передвижений; энергия невидимого излучения при этом резко возрастает. Мы не раз замечали, включая электрическую плитку, рефлектор или лампу накаливания в сеть, как сначала проволоочная

спираль начинает испускать невидимые инфракрасные лучи, дающие ощущение тепла, а затем возникает еще более горячее красное, желтое и, наконец, ослепительно белое свечение спирали. Это означает, что спектр лучей, излучаемых телом, по мере нагрева все больше сдвигается в сторону видимых лучей.

Когда удастся разогреть вещество на Земле до температуры 5500—6000 °С, зажигая, например, электрическую дугу в узком воздушном промежутке между двумя угольными электродами, то спектр излучения такого источника света почти полностью повторяет спектр Солнца.

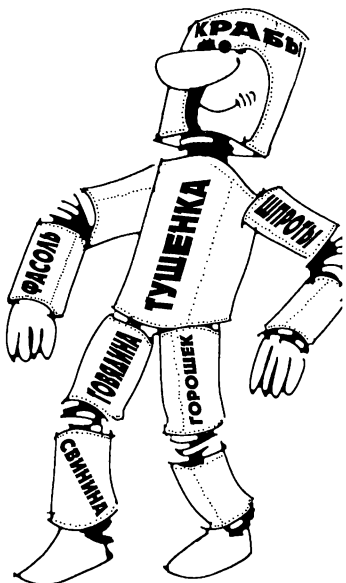
Свет, очень похожий на солнечный, испускают и лампы, в которых светится газ, например ксенон, возбужденный быстрыми разрядами электрического тока. Лампы-солнца используют для яркого освещения улиц или в прожекторах, устанавливаемых на маяках. Искусственное солнце, как и настоящее, испускает много видимых и невидимых лучей.

Если стеклянную оболочку лампы на маяке закрыть черным фильтром, пропускающим только инфракрасные лучи, то берег и море будут освещены потоком невидимых лучей. Достаточно на кораблях установить приборы, превращающие невидимые лучи в видимые, чтобы корабли могли «говорить» с берегом на бесшумном и незаметном языке инфракрасных лучей, и в этот разговор не смогут вмешаться посторонние. В приборах-преобразователях невидимые лучи попадают на фоточувствительный слой, выбивают из него электроны, которые летят к экрану, покрытому слоем люминофора, и заставляют его светиться. Невидимые лучи становятся видимыми! Точно так же устроена невидимая оптическая охрана ценных скульптур и картин во многих больших музеях мира. Если в ночной час чья-то рука пересечет невидимый луч в зале музея, то электрический сигнал от прибора-преобразователя мгновенно включает сигнал тревоги.

Есть и другая, весьма обширная область использования ламп невидимого света и устройств, обнаруживающих присутствие невидимых лучей, — это оборонные системы во всех армиях мира.

Согреваемся... отдав свое тепло

Собственное тепловое излучение немного нагретых тел только на первый взгляд кажется слабым и незаметным. Ученые подсчитали, а затем и подтвердили опытным путем, что невидимое тепловое излучение поверхности человеческого тела обладает достаточной энергией, чтобы согреть нас даже в холодную зимнюю ночь. Придется лишь надеть костюм-комбинезон с прокладкой из алюминиевой фольги, отражающей обратно испускаемое человеческим организмом инфракрасное излучение. Наше тело излучает несколько сотен ватт тепловой энергии, и этого вполне хватит, чтобы не замерзнуть. «Свой дом ношу с собой!» — может с полным правом сказать обладатель такого костюма.



Воздушная оболочка нашей планеты не только служит источником кислорода для всех обитателей Земли. Атмосфера прозрачна по отношению к солнечным лучам, но почти полностью поглощает собственное невидимое тепловое излучение Земли и возвращает большую часть его обратно. Теплое воздушное «одеяло» тем самым не позволяет Земле остывать; благодаря ему температура на нашей планете поддерживается в пределах, вполне подходящих для жизни разнообразных живых существ.

Первым в середине прошлого века понял роль атмосферы в нагреве Земли английский ученый Джон Тиндаль, верный ученик Фарадея. Вероятно, у своего учителя Тиндаль научился искусству ставить простые и убедительные опыты, доказывающие или опровергающие те или иные научные предположения. Так, пропуская инфракрасные лучи через тонкую кварцевую ампулу, заполненную углекислым газом, Тиндаль обнаружил, что углекислый газ активно поглощает инфракрасные лучи. Затем он поставил на место ампулы длинную трубку (тоже из кварца, прозрачного для инфракрасных лучей), в которую во время опыта просил выдыхать воздух своих помощников и, конечно, дышал сам. В спектре инфракрасного излучения, прошедшего через трубку, наблюдались зияющие провалы-пропуски в тех местах, где находятся лучи, поглощаемые углекислым газом. Это означало, что в кварцевой трубке появился углекислый газ. Убедительное оптическое доказательство известного нам теперь с юных лет факта, что, вдыхая кислород, человек выдыхает углекислый газ!

Другой опыт Тиндаля еще эффективнее. Однажды на заседании Королевского научного общества Тиндаль сфокусировал с помощью большого вогнутого зеркала инфракрасное излучение от нескольких темных нагревателей и зажег в воздухе (без спичек и огня) тонкую деревянную палочку. Палочка загорелась через несколько секунд после того, как Тиндаль поместил ее в фокус зеркала. Наглядный пример того, как много энергии несут с собой невидимые лучи, особенно если они собраны вместе!

Наш друг — атмосфера

Опыты Тиндаля помогли доказать существование еще одного оптического явления, важного для теплового баланса и кли-

мата нашей планеты: углекислый газ и водяные пары атмосферы так сильно поглощают инфракрасные лучи, что собственному тепловому излучению Земли не удастся беспрепятственно пробиться в холодный космос. Атмосфера выполняет ту же роль, что и стекло в оранжереях и теплицах. Обогрев с помощью оболочек, прозрачных для солнечных лучей и непрозрачных для невидимых лучей, испускаемых телом, получил название парникового эффекта.

Атмосфера Венеры, как и воздушная оболочка Земли, обладает прекрасными парниковыми свойствами. Но вот на Марсе ученым недавно удалось обнаружить прямо противоположное явление — антипарниковое действие атмосферы.

Атмосфера Марса очень сильно разрежена — давление на поверхности Марса в 160 раз меньше, чем на поверхности Земли! Такая атмосфера свободно пропускает тепловое излучение планеты «сквозь себя», не только не согревая, а наоборот — выстуживая поверхность Марса. Даже тепловые бури не помогают Марсу согреться. К тому же Марс, находящийся от Солнца значительно дальше, чем Земля, получает в два раза меньше солнечного тепла. Вот почему среднесезонная температура на Марсе составляет -60°C , опускаясь в холодные зимние ночи до -126°C .

Другие невидимые лучи — ультрафиолетовые — тоже интенсивно поглощаются атмосферой Земли, и, как выяснили ученые, это не менее благоприятно влияет на здоровье и самочувствие жителей Земли, чем поглощение атмосферой инфракрасных лучей. Ультрафиолетовые лучи посылает на Землю Солнце. Этих лучей немного в спектре Солнца — всего 9%, но их энергия велика.

Падая на внешний слой атмосферы Земли, они разрывают молекулы кислорода на два атома. Один из атомов затем присоединяется к другой молекуле кислорода, образуя новое соединение — газ озон, состоящий из трех атомов кислорода. Активно поглощая ультрафиолетовые лучи с большой энергией, озон не пропускает их к зеленым растениям Земли, не позволяет им разрушать клетки живых организмов. Сквозь атмосферу удастся проникнуть только ультрафиолетовым лучам с небольшой энергией. Эти лучи помогают нам загорать и в разумных дозах благотворны для всех живых существ.

Холодный и теплый свет

Можно привести пример, показывающий, что иногда удается даже самые энергичные ультрафиолетовые лучи сделать полезными людям.

В двадцатых годах прошлого столетия известный физик Сергей Иванович Вавилов впервые предложил идею нового источника света, получившего название люминесцентной лампы. Длинную стеклянную трубку с впаянными металлическими электродами заполняют парами ртути. На внутреннюю поверхность трубки предварительно наносится слой люминофора. Когда между электродами подается напряжение и зажигается разряд в парах ртути, возникает излучение, состоящее в основном из невидимых ультрафиолетовых лучей боль-

шой энергии, под действием которых начинает светиться видимым светом люминофор на стенках трубки. Добавляя в него необходимые примеси, можно сделать так, чтобы спектр свечения люминофора был похожим на солнечное излучение в видимой части спектра.

Черное тело, которое светится под действием нагрева, необходимо, как уже говорилось, раскалить до температуры почти 6000°C , чтобы получить спектр свечения, совпадающий со спектром Солнца! В лампах накаливания светящаяся спираль сделана из самого тугоплавкого материала — вольфрама, но даже ее нельзя нагреть выше $2800\text{--}3200^{\circ}\text{C}$: спираль перегорает. Конечно, желтоватый свет лампы накаливания из-за этого очень далек по спектральному составу от белого солнечного света.

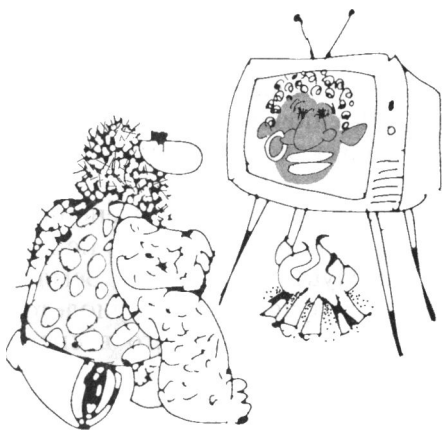
Раскаленное тело светится благодаря быстрым колебательным и вращательным движениям молекул, причем интенсивность этих движений увеличивается с ростом температуры. В спектре излучения нагретого тела поэтому всегда обнаруживается множество самых различных волн; невидимых инфракрасных лучей там больше, чем видимых.

В веществе-люминофоре атомы получают дополнительную энергию извне (от пучка электронов в телевизионной трубке или от потока ультрафиолетовых лучей в лампах дневного света). Электроны при этом переходят в возбужденное состояние. При первом же удобном случае, через тысячные доли секунды, электроны возвращаются в обычное состояние, отдавая окружающей среде часть энергии, потраченной на их возбуждение, в форме видимого света.

Такой способ создания светового излучения принципиально отличается от привычного теплового способа, известного человеку с тех незапамятных пор, когда он впервые присел у костра. В люминофорах энергия возбуждения, подводимая извне, расходуется экономно, и в спектре их свечения видимых лучей больше, чем невидимых. Ученым удалось создать яркие холодные лампы!

Незаметные и незаменимые друзья

Ясный солнечный день. Над бескрайними полями, ждущими урожая, летит самолет. Нет, с этого самолета не будут сбрасывать химические вещества, убивающие насекомых-вредителей. На самолете установлен фотоаппарат с пленкой, чувствительной к инфракрасным лучам Солнца, отраженным от Земли. После проявления инфракрасных фотографий агрономы будут искренне удивляться: внешне эти два поля выглядели совершенно одинаково, а на фотографиях они



совсем разные — одно светлое, другое — темное. Объясняется разница тем, что вода почти полностью поглощает инфракрасные лучи и содержащая достаточное количество влаги почва выглядит на инфракрасной фотографии темной. «Светлому» же полю влаги явно не хватает, его нужно срочно напоить!

Самую разнообразную дружескую помощь оказывают сейчас человеку невидимые лучи. Рассматривая инфракрасную фотографию жилого дома, легко определить по светлым участкам на ней все пути утечки тепла, понять, где необходимо усилить теплоизоляцию дома.

Реставраторы картин и знатоки живописи часто прибегают к услугам невидимых лучей для установления подлинности картин, времени их создания, техники исполнения. При просвечивании ультрафиолетовыми лучами можно обнаружить дефекты и царапины на полотне. Пигменты в красках растительного, животного и минерального происхождения светятся при облучении ультрафиолетом различными цветами. На инфракрасных фотографиях старых картин неожиданно проступают новые неизвестные детали: лучи с длиной волны большей, чем у видимого света, легко проникают сквозь слой потемневшего лака.

Астрономам ультрафиолетовое излучение сообщает о количестве водорода в межзвездном пространстве и в составе далеких галактик и звезд. Инфракрасные лучи, испускаемые планетами нашей Солнечной системы, позволяют судить об их температуре.

Тепловизор (прибор, улавливающий тепловое излучение) может на расстоянии нескольких десятков метров от раскаленной печи определить распределение тепла по ее стенкам. Такой же прибор, установленный на вертолете или самолете, легко отличит автобус с горячим мотором, только что закончивший долгий переезд, от «отдыхающего» холодного автобуса.

Врач, подозревающий у больного воспаление или опухоль, увидит их на экране тепловизора в виде светлых пятен на темном фоне. Болезнь будет обнаружена на той стадии, когда с ней еще можно справиться. И это произойдет благодаря тому, что медики сейчас все чаще обращаются за помощью к физикам.

Неразрушающий анализ

С огромным эффектом применяются невидимые лучи при определении химического строения веществ. Энергия вращательных и колебательных движений молекул соизмерима с энергией инфракрасных лучей. Именно поэтому большинство окружающих нас предметов интенсивно поглощают инфракрасные лучи. Чтобы измерить прозрачность различных веществ в инфракрасной области спектра, необходимо получить тонкую пленку данного вещества или его раствор в каком-нибудь органическом растворителе (в воде нельзя: она очень активно поглощает невидимые лучи!). Пленку растягивают между двумя зажимами, а раствор наливают в кювету — плоский стаканчик из поваренной соли. Затем пленку или кювету освещают по очереди инфракрасными лучами различной длины волны и запи-

сывают получившийся спектр поглощения вещества в инфракрасной области.

Когда ученые впервые проделали эти опыты, их радости не было границ: каждое вещество имело спектр, хоть немного, но отличный от другого, будто вещество оставило на бумаге свои отпечатки пальцев! Инфракрасные спектры похожи на силуэты неведомых замков — бежит по бумаге причудливая кривая с всплесками и впадинами, с башенками и зубцами.

Химическое строение нескольких уже хорошо изученных веществ исследователи сопоставили с записанными инфракрасными спектрами. И тогда выяснилось, что появление каждого зубца или башенки на спектре вызвано внутримолекулярным движением атомов или их групп в ответ на облучение инфракрасными лучами. Все виды химической связи, все группы атомов, особенности структуры молекул, виды соединений молекул между собой отразились на этих спектрах. Так, в записанных спектрах отчетливо видны: двойная связь между атомами углерода, соединения углерода с водородом или кислородом, три атома водорода, объединенные с атомом углерода в метильную группу, и многие другие детали химической структуры сложных веществ. Каждая из частей молекулы оставила свой характерный знак — всплеск на спектральной кривой.

Начался кропотливый, тяжелый, но крайне необходимый труд по составлению атласов-путеводителей в море спектральных кривых. Сейчас с помощью этих атласов можно быстро установить строение незнакомого материала или отыскать мельчайшие следы известного вещества среди сотен других.

«Говорящая молния»

Голландский физик Христиан Гюйгенс, современник Ньютона, однажды сказал: «В природе света остается для исследований значительно более того, чем, думается мне, сделано мною». Это предвидение полностью оправдалось. «В природе света» ученые нашли столько свойств, ранее неизвестных, что все это трудно было бы вообразить в XVII веке. Особенно много добавил к знаниям человечества девятнадцатый век, так блистательно начавшийся с замечательных открытий в области оптики и электричества.

Ученым XIX века все же не давала покоя одна нерешенная техническая проблема: несмотря на очевидные успехи науки, еще не было быстрой и надежной связи между людьми, живущими в разных городах и странах. Иногда можно спокойно дожидаться новостей, неторопливо путешествуя в почтовой карете, но бывают обстоятельства, например во время войны, когда связь должна быть молниеносной, ведь во время боевых действий, как известно, «промедление смерти подобно».

Первые попытки построить линии дальней связи были фактически подражанием нашим далеким предкам, разводившим костры на вершинах гор, чтобы сообщить о грозящей опасности своим соплеменникам. Во времена Великой Французской революции между Парижем и Лил-

лем на расстоянии 225 километров был построен ряд сигнальных башен. Из нескольких деревянных брусев, соединенных веревками, на крышах башен выкладывались слова военных сообщений, хорошо заметные в бинокль с соседней башни. 15 августа 1794 года сообщение о важной победе революционных войск было передано по этой линии за час!

Физики не могли придумать в те годы лучшего способа связи, и сигнальные башни стали строиться в разных странах. Самая длинная линия такого «оптического» телеграфа (протяженностью 1200 километров!) была построена в 1839 году между Петербургом и Варшавой.

Открытия Гальвани, Вольты, Ампера, Фарадея направили мысль изобретателей и ученых по новому пути: надо заставить электрический ток передавать необходимые сигналы, переносить слова срочных сообщений на большие расстояния.

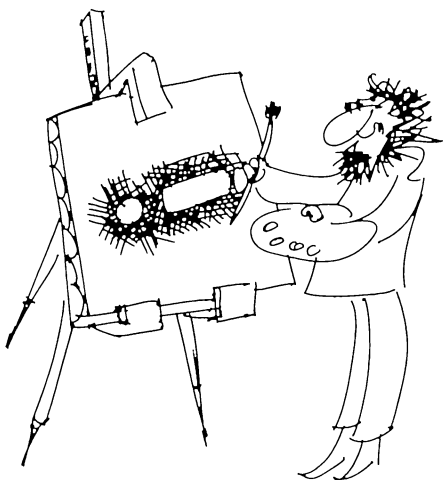
Почти во всех университетах и лабораториях мира конструировались огромные вольтовы столбы, состоявшие из многих последовательно соединенных электрохимических батарей. Получаемое электрическое напряжение зависело от числа батарей в столбе.

Еще в самом начале XIX века в Испании и Германии были созданы модели электрохимической связи: из одной комнаты (от установленного там вольтова столба) в другую тянулись два провода, опущенные в стакан с водой. Когда электрическая цепь в соседней комнате замыкалась, в стакане происходило разложение воды на кислород и водород. Стайка весело поднимавшихся в воде пузырьков газа сигнализировала: ток идет!

Рождались проекты электрохимического телеграфа: от источника тока протягивалась толстая связка проводов к целому семейству стаканов с водой — по одному стакану на каждую букву алфавита. Но практического воплощения эти проекты не нашли: слишком много требовалось проводов, пузырьков и стаканов.

Среди изобретателей новых способов связи история науки выделяет одно имя особенным шрифтом: МОРЗЕ. И делает это вполне заслуженно.

В 1832 году на палубе корабля «Сэлли», возвращаясь из Франции домой, американский художник Сэмюэл Морзе, находясь под явным влиянием только что опубликованной книги Фарадея и непрерывных разговоров о явлениях электромагнетизма, которые велись пассажирами корабля, внезапно представил себе новую конструкцию телеграфа! Морзе был так уверен в ее технической осуществимости, что подошел к капитану корабля и сказал: «Если вы услышите когда-нибудь о магнитном телеграфе, знайте, что он изобретен на вашем корабле». За время месячного плавания Морзе сделал несколько чертежей телеграфа и после возвращения попытался изготовить действующую конструкцию устройства. Ничего не получилось. Прошло три года. В 1835 году Морзе занял место профессора живописи и рисования в Нью-Йоркском университете. Советы коллег-профессоров с химического факультета помогли ему, наконец, в 1836 го-



ду довести идею телеграфа до работающей модели.

Приемная и передающая станции в модели Морзе были соединены электрической цепью постоянного тока. На приемной станции часть этой цепи являлась обмоткой электромагнита. Когда по цепи шел ток, якорь-сердечник электромагнита втягивался внутрь. На передающей станции телеграфист с помощью ключа с рукояткой мог периодически замыкать и размыкать цепь. На приемной станции простой пружинный механизм протягивал бумажную ленту мимо пишущего узла, в момент за-

мыкания цепи электромагнит прижимал якорь к бумаге. После кратковременного прикосновения к ключу на бумажной ленте оставалась точка, после более длительного нажатия на ключ — прочерчивалось тире.

Видимо, способности художника, особое графическое видение предметов помогли Морзе создать сохранившую свое значение до наших дней азбуку Морзе, в которой каждая буква алфавита зашифрована особым сочетанием точек и тире. Большую помощь Морзе в дальнейшем улучшении телеграфа оказал американский ученый Джозеф Генри, советник президента Линкольна по вопросам науки, бескорыстный учитель молодых исследователей.

Телеграфные провода, подвешенные на столбах, простирались теперь на многие километры. Телеграф получил образное название «говорящая молния». К 1848 году жители самых глухих американских сел читали сообщения о войне в Мексике, переданные по «говорящей молнии».

Последователям Морзе удалось изобрести телеграф, в котором вместо точек и тире печатались сразу буквы. Телеграфом сразу начали пользоваться очень широко. На железных дорогах его стали применять для сигнализации, связи и автоматической остановки поездов. В Петербурге уже в 1841 году телеграфная линия соединила Зимний дворец с Генеральным штабом...

Вскоре возникла идея прокладки по дну Атлантического океана толстого изолированного кабеля между Европой и Америкой. Идею удалось осуществить. Известия о наиболее значительных событиях, переданные по кабелю с помощью телеграфа, быстро становились достоянием огромного числа людей на обоих континентах.

Сильнее бурь, ветров и непогоды

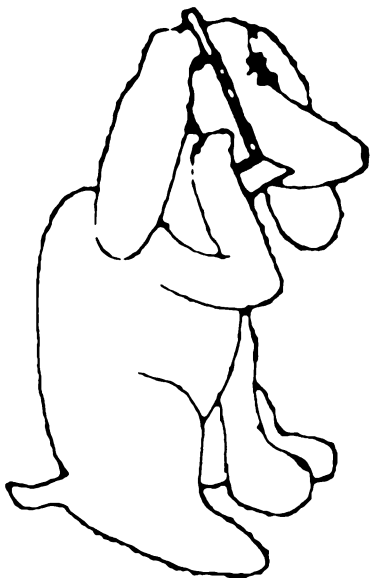
Невидимый и всемогущий электрический ток понес во все концы Земли известия о военных победах и поражениях, о семейных радостях и государственных переворотах, о выставках скота и иногда... о научных открытиях. Газеты быстро печатали поступающие сообщения, и люди впервые стали ощущать, что наша планета не такая большая, как им казалось до сих пор. Но иногда сообщения в газетах и журналах появлялись значительно позднее, чем поступали. Однажды это было вызвано тем, что в передаваемые новости... трудно было поверить.

6 октября 1877 года в известном научно-популярном журнале «Научный американец» появилась большая статья с подробными рисунками. В ней рассказывалось о новом изобретении — телефоне, которое сделал молодой преподаватель Бостонской школы для глухонемых Александр Белл. Телефон Белла демонстрировался еще летом 1876 года на выставке в честь столетнего юбилея со дня образования Соединенных Штатов Америки в Филадельфии, в январе 1877 года на заседании философского общества в Вашингтоне, перед публикой и журналистами в Салеме, Бостоне, Нью-Йорке. Изобретение было столь необычным, что без особой тщательной проверки такие солидные издания, как «Научный американец», писать о нем не решались.

Александр Беллу в его работе пригодилось хорошее знание не только электротехники, но и акустики — науки, изучающей свойства звука. Недаром он, так же как его дед и отец, был знатоком ораторского искусства и преподавателем, учившим правильной речи!

Звук распространяется благодаря периодическим сжатиям и разрежениям воздуха. Небольшой рупор может собрать звук и направить его на чувствительный элемент, например на мембрану. Белл изготовил очень легкие и тонкие пластины-мембраны — их колебания под влиянием звуков человеческой речи были заметны даже невооруженным глазом. В конце концов он остановился на мембране из тонкой железной фольги, которую поместил внутрь электромагнита. Когда мембрана колебалась в такт с человеческой речью, по электрическим проводам от электромагнита на приемную станцию шли сигналы переменного тока. Ведь поле внутри магнита изменялось в точном соответствии с движениями мембраны!

На приемной станции происходило обратное превращение: под влиянием переменных импульсов электрического тока возникали колебания железной



мембраны, тоже помещенной в электромагнит. Колебания мембраны принимающей трубки передавались окружающему воздуху. В нем возникали звуки голоса человека, который говорил перед передающей мембраной, установленной в другой комнате или... в другом городе — это уже зависело только от длины и толщины электрических проводов!

Любознательные корреспонденты газет окружали плотной толпой Белла и его юного помощника Ватсона во время всех публичных демонстраций телефона. Белл и Ватсон находились при этом в разных городах. Все слова, произнесенные ими, точно записывались. Затем, когда корреспонденты съезжались в один город, слова придиричиво сравнивались. Даже самые недоверчивые убедились в том, что об обмане в этих опытах не могло быть и речи. И только тогда появилась статья в «Научном американце».

Александр Белл получил патент на изобретение телефона, основал фирму, которая занялась изготовлением и продажей телефонных аппаратов всем желающим. Для крупных городов были разработаны проекты центральных телефонных диспетчерских, куда поступают сигналы от отдельных абонентов. В первые годы, до постройки систем автоматического соединения номеров в центральной диспетчерской (автоматических телефонных станций), эту утомительную работу приходилось выполнять сотням девушек с мелодичными голосами.

Не успев привыкнуть к телефону, неугомонные изобретатели последней четверти XIX века продолжали свою погоню за открытиями. На очереди была идея передачи звуков человеческого голоса без проводов. Ведь проводами не соединишь два корабля, не выпустишь в воздух на проводе-веревочке и самолет — только что созданное новое техническое чудо, вдохновлявшее ученых и инженеров всего света! Кстати, сам Александр Белл тоже всегда мечтал заняться созданием новых конструкций летательных аппаратов.

Но чем заменить электрические провода? Этого исследователи не знали. Ведь звук человеческого голоса, даже самого громкого, быстро гаснет в воздухе. Это мы хорошо знаем по собственному опыту, тщетно пытаясь окликнуть кого-нибудь с расстояния в 200—300 метров.

«Непонятное в баночке»

В 1842 году Джозеф Генри заметил, что металлические иглы, которые лежали на столе в подвале здания, где он работал, намагничиваются от электрической искры, полученной в приборе, находящемся на втором этаже. Однако Генри публиковал свои сообщения неохотно, да и то только в журнале Йельского университета, о котором в Европе мало кто слышал.

Лишь в конце 80-х годов XIX века Генрих Герц в Германии поставил опыты, подтвердившие наблюдение Генри. Герц расположил рядом два колебательных контура и возбуждал в одном из них электрические колебания. Контур был очень простым: конденсатор, ко-

торый можно периодически заряжать от электрохимической батареи, провод, катушка и в одном месте — маленький зазор. Когда электрические колебания в контуре становились особенно сильными, в зазоре появлялась крохотная искра. Ее наблюдали многие исследователи и до Герца... Но он сумел увидеть другую искорку, которая проскакивала в зазоре соседнего контура тотчас вслед за первой! Контуров не были соединены между собой, и во втором контуре никаких колебаний не возбуждал.

Кто же перенес электрическое возбуждение из одного места в другое? Новые невидимые лучи? Герц сумел доказать, что на этот вопрос следует ответить утвердительно: да, первый колебательный контур в момент проскакивания искры излучает во все стороны невидимые электрические (как их назвал Герц) лучи. Эти лучи свободно проникают сквозь толстые бетонные стены, землю, деревья. Эти же лучи намагничивали иглы в подвале дома Генри.

Преподаватель офицерских минных курсов в Кронштадте Александр Степанович Попов, прочитав описание опытов Герца, сразу понял, что именно на этом пути лежит верное решение той проблемы, которая давно захватила его воображение: создать беспроволочный телеграф! Надо лишь значительно увеличить чувствительность второго колебательного контура к приему волн, излучаемых первым контуром. Попов сделал удобный и неприхотливый прибор, названный им «когерером», которым он в конце концов просто заменил второй контур. Когерер представлял собой стеклянную трубку с впаянными в нее с двух сторон металлическими электродами. Между электродами помещалось большое количество мелких металлических опилок.

Когда электрические лучи Герца от колебательного контура приходили к когереру, между опилками проскакивали искры. Опилки на время соединялись, и сопротивление между электродами резко падало. Если после этого когерер встряхивали, то опилки рассыпались, сопротивление в цепи вновь возрастало — и прибор был готов к приему новой порции неведомого электрического излучения, снова «чувствовал» посланный издалека сигнал.

Один из электродов когерера Попов заземлил, а другой присоединил к поднятому на шесте длинному куску проволоки. Чувствительность прибора к приему излучения еще больше возросла — так была создана первая в мире антенна! 7 мая 1895 года Попов показал свой прибор на заседании Русского физико-химического общества. Этот день стал днем рождения радио — беспроволочной передачи электрических сигналов на большие расстояния. Электри-



ческие лучи, получаемые в колебательном контуре, с тех пор называют радиоизлучением или радиоволнами.

Исследователи многих стран стали интенсивно изучать новый вид невидимых лучей. Изменяя конструкцию и размеры передающего колебательного контура, удалось получить радиоволны самой различной длины — от долей сантиметра до нескольких километров.

Попов все время совершенствовал устройство как передатчика, так и приемника радиоволн. Дальность передачи сигналов все время возрастала. Если в первых опытах она составляла всего 250 метров, то на маневрах Черноморского флота в 1899 году была установлена радиосвязь между кораблями, расположенными на расстоянии 20 километров друг от друга. В 1901 году дальность радиосвязи уже составляла 150 километров!

Итальянский инженер Г. Маркони основал большую фирму, которая стала выпускать в продажу радиоприемники и радиопередатчики. Вскоре удалось осуществить беспроволочную передачу электрических сигналов через Атлантический океан. Во время Первой мировой войны уже использовалась радиосвязь между отдельными группами войск.

Длинное путешествие коротких волн

Ученым очень хотелось заставить радиоволны обогнуть земной шар. А для этого было необходимо увеличить мощность передатчиков и резко усилить чувствительность приемников к приходящим издалека очень слабым радиосигналам.

Одновременно продолжалось и совершенствование телефона. Громоздкие железные мембраны вскоре были заменены легкими пленочными. Под ними стали располагать электреты — сделанные из особых веществ таблетки, противоположные поверхности которых заряжены разноименно. Для получения электрических сигналов теперь уже не требовалось втягивать и вытягивать сердечник электромагнита и соединять телефон с электросетью. В электрическом поле неподвижного крохотного электрета, вырезанного из пластинки титаната кальция, механические колебания тонкой мембраны, возникающие под действием звуков человеческого голоса, вызывают появление электрического тока во внешней цепи.

Примерами веществ, из которых изготавливаются электреты, являются различные смеси канифоли, пчелиного воска, смол, парафинов; полимеры (органическое стекло, нейлон); нафталин, сера, эбонит; неорганические керамические материалы — титанаты кальция, магния, бария.

Очень «вовремя» — в 1913 году появилась электронная лампа. Инженеры всего мира получили удивительный прибор, благодаря которому возможности радиотехнических схем генерировать и принимать радиоволны резко возросли. Электронная лампа внешне устроена очень просто: в маленькую стеклянную колбу впаяны электроды: от-

рицательный — катод и положительный — анод. Ближе к катоду помещен еще один электрод из металлической сетки. Источником электронов в такой лампе является катод: при нагревании его до высокой температуры (порядка 1000 °C) начинается процесс так называемой термоэлектронной эмиссии с поверхности катода. Из колбы вакуумным насосом откачан воздух, чтобы электроны не сталкивались с молекулами газов, его составляющих. Вылетевшие из катода электроны создают электрический ток в безвоздушном пространстве лампы, если к аноду приложить положительный (относительно катода) потенциал.

Если же при этом к сетчатому электроду приложить отрицательный (относительно катода) потенциал, то такое «встречное» поле может не пропустить электроны к аноду — и ток в лампе исчезнет. Но сетчатый электрод (сокращенно называемый «сеткой») не всегда играет роль неусыпного сторожа-шлагбаума на «железнодорожном переезде» катод — анод: иногда он помогает открыть движение по этой дороге. Представим себе, что между катодом и анодом имеется большое напряжение, но его все же чуть-чуть не хватает, чтобы между электродами возник ток. Тогда совсем небольшого толчка, очень маленького дополнительного напряжения между катодом и сеткой (но теперь уже направленного не «против» напряжения катод—анод) будет достаточно, чтобы долгожданный ток возник. Не зря сетка в такой лампе называется управляющей!

Просто, не правда ли? Но этот простой прибор нашел самое широкое распространение в разных областях. На его основе были сделаны мощные генераторы радиоволн, получены выпрямители, позволяющие превращать переменный ток в постоянный, и, наконец, самое главное — разработаны усилители слабых радиосигналов. Приходящая радиоволна вызывает появление очень слабого напряжения между катодом и сеткой. Если оно сыграет роль «пускового крючка», под влиянием которого в цепи лампы пойдет большой ток (ведь между катодом и анодом уже приложено высокое напряжение от могучей электрохимической батареи), то радиосигнал усилится в тысячу, а то и в миллион раз! Мы ведь будем судить о нем по большому току, который потечет в цепи. Были созданы конденсаторы с переменной емкостью. Радиотехники научились выделять из массы бесшумных радиозвуков, заполняющих мир, именно то радиоизлучение, которое несет с собой необходимую информацию.

После Второй мировой войны на смену электронным лампам пришли крохотные полупроводниковые кристаллы. Внедряя в кристалл примеси-добавки, удалось создать в нем области, заменяющие собой катод, анод и сетку электронных ламп.

В твердых телах электроны находятся на определенных энергетических уровнях, сгруппированных в зоны, отделенные друг от друга энергетическими промежутками. У металлов зоны перекрываются, и непосредственно над заполненными уровнями находятся свободные уровни, поэтому электрон под действием электрического

поля свободно переходит с уровня на уровень. В изоляторах и полупроводниках заполненная зона отделена от свободных уровней энергетической щелью, так называемой *запрещенной зоной*. Ширина запрещенной зоны у полупроводников значительно меньше, чем у изоляторов, и под воздействием тепла, света или какого-нибудь другого излучения электроны в полупроводнике могут преодолевать запрещенную зону и переходить в свободную зону. При внесении в полупроводник примеси в запрещенной зоне появляются дополнительные разрешенные уровни, облегчающие переход из заполненной зоны в свободную.

В одной полупроводниковой пластинке стали получать большие электронные схемы, состоящие из тысяч выпрямителей, сопротивлений, диодов и транзисторов, заменивших электронные лампы. Большой оптический микроскоп превратился в самый необходимый прибор на электронных заводах. Появились радиоприемники, умещавшиеся в спичечный коробок или даже... в булавку для заковки галстука. А в авторучке теперь можно было разместить целую радиостанцию: радиопередатчик, приемник и источник электроэнергии — крохотные, похожие на пуговички, электрохимические батарейки. Мощность радиопередатчиков и чувствительность радиоприемников все время возрастала, но осуществить свою мечту — обогнуть радиоволнами земной шар — ученые так и не смогли бы, если бы не помощь... самой Природы.

На рубеже XIX и XX веков, когда еще не существовало специальных устройств для измерения концентрации ионов на большой высоте, было установлено, что под влиянием заряженных частиц, летящих от Солнца и от других звезд, под действием ультрафиолетового излучения в самых верхних слоях атмосферы Земли на высоте от 100 до 300 км от ее поверхности образуется слой ионизированного газа. Вращаются в магнитном поле Земли свободные электроны,

отщепленные от атомов, и протоны — ядра водорода, альфа-частицы — ядра гелия, ионизированные атомы и молекулы некоторых других газов, составляющих воздушную оболочку Земли. Этот слой получил название ионосферы и открыт он был благодаря тому, что от него прекрасно отражаются короткие радиоволны с длиной волны от 10 до 100 м. Отражаются, как от полированной металлической пластинки. Ведь не даром ионосфера проводит электрический ток! Многократно и попеременно «отталкиваясь» от ионосферы и от поверхности Земли, короткие радиоволны свободно огибают земной шар, позволяя соединить устойчивой радиосвязью самые от-



даленные уголки нашей планеты. Природа удивительно часто помогает изобретателям новых приборов и устройств.

Невидимые картинки, неслышимые звуки проносятся мимо нас

Создан телефон, найдены способы осуществления дальней радиосвязи. И конечно, вполне естественным было желание ученых соединить эти изобретения: почему бы, например, с помощью радиосвязи не передавать на большие расстояния и звуки человеческого голоса? Ведь удалось же соединить телеграф и радиосвязь — электрические точки и тире военных сообщений «полетели» по воздуху с корабля на корабль. Однако вибрации мембраны телефонной трубки под влиянием человеческого голоса создают в цепи электрические колебания такой низкой частоты, что они практически не переходят в переносимые в пространстве радиоволны.

Положение казалось безвыходным, и все же изобретательная человеческая мысль нашла удивительно красивое решение: ученые стали смешивать электрические колебания двух сортов — идущие от обычного радиопередатчика и от телефонной трубки. Форма высокочастотных радиоволн изменялась в строгом соответствии с тем, какие звуки рождали низкочастотные электрические колебания, с которыми им приходилось «соединяться» по воле исследователей. Звуковые колебания помчались во все края земли на «спине» быстрых и вездесущих радиоволн.

В радиоприемнике, получающем смешанный радиосигнал, происходит «разъединение» двух колебаний — и низкочастотные звуковые колебания, будто соскочив с резвого иноходца, доставившего их по месту назначения, вновь занимают своим обычным делом: под их влиянием начинает вибрировать мембрана в динамике радиоприемника, точно воспроизводя звуки того голоса, который послал их в далекое путешествие.

Вскоре был изобретен телевизор. В нем радиоволны выполняют роль нервных импульсов, переносящих зрительные сигналы от глаз к мозгу. Только вместо глаз — передающие телевизионные трубки. Световые лучи, отраженные от предметов, людей, книжного и газетного текста, попадают на экран передающей электронно-лучевой трубки. Экран, покрытый фоточувствительным слоем, под действием света начинает неравномерно «излучать» электроны. На месте электронов, покинувших экран, остается положительный заряд, величина которого зависит от количества света, попавшего на тот или иной участок экрана. Возникает невидимая электронная мозаика! Другой поток электронов, встречный, вылетающий из особого источника — «электронной пушки», находящейся внутри трубки, быстро пробегает по экрану, «запоминая» созданную на нем картину заряженных и незаряженных участков.

Изменения в интенсивности быстро бегущего по экрану электрон-

ного луча, вызванные различием в величине электрического заряда отдельных мест фоточувствительного слоя, превращаются затем в колебания радиоволн и переносятся к телевизионным приемникам, установленным в далеких квартирах и домах. Здесь электронный луч, послушно повинаясь команде радиоволн, прочерчивает на покрытом люминофором экране картину, «увиденную» камерой оператора за много километров от нашего дома.

Появившийся несколько позже фототелеграф и его «младший брат» — факсимильный аппарат, или факс, также служат для передачи изображений на расстояние. Факсимильный аппарат протягивает через себя лист бумаги с текстом или рисунками, а быстро движущаяся поперек листа головка с фотоэлементами переводит «картинку» в последовательность электрических импульсов, управляющую печатающей головкой принимающего аппарата, которая «рисует» на специальной бумаге точную копию передаваемого изображения.

Спешат, летят в воздухе мимо нас радиоволны, несут (в буквальном смысле на себе) не только звук, но и свет, новости, знания. Радиосвязь в тысячу раз увеличила чувствительность человеческого уха и зоркость глаза. Физики научились переносить звуки на далекие расстояния не только благодаря радиоволнам, но и с помощью световых лучей. Форму световых лучей, оказывается, тоже можно изменить под действием электрических колебаний звуковой частоты.

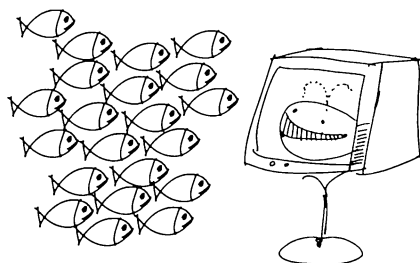
Свет еще быстрее, чем радиоволны, несет человеческий голос во все концы Земли. Частота световых волн во много раз выше, чем радиоволн: у радиоволн — это сотни и тысячи колебаний в секунду, а у света — миллионы и миллиарды! Свет может доставить к месту назначения гораздо больше информации за то же время. Лучше всего такой «говорящий» луч посылать по световоду, проложенному под землей. Именно световодные, или, как их называют, волоконно-оптические, кабели служат сегодня основными «артериями» стремительно развивающейся всемирной компьютерной сети Интернет. Обнаружена еще и такая связь: световые лучи отклоняются, встретившись в воздухе со... звуком. Это можно легко понять, ведь звуковые волны создают скопления и разрежения воздуха и показатель преломления воздуха в пространстве при этом периодически изменяется. Возникла еще одна область физики — оптоакустическая электроника.

Изучая свойства света и звука, физики создают новые, все более удобные для человека приборы и устройства. Писатели и поэты, не менее наблюдательные, чем ученые, выражают свои впечатления образными сравнениями, соотнося свойства явлений, обнаруженных в Природе, с особенностями человеческого восприятия.

Там, где звук быстрее света

«Темно, как у кита в животе», «темно, как на дне морском», — как часто мы в детстве слышим эти пугающие слова и верим им.

Даже небольшой детский жизненный опыт убеждает нас в этом: в воде пруда, заросшей речки, в море у пляжа становится темнее, когда опускаешься на неглубокое дно, затаив на несколько секунд дыхание. Что же тогда говорить о бездонных морских и океанских пучинах, куда не проникает ни один луч света? Ведь средняя глубина океана вдали от берега составляет 4—5 километров, а уже на глубине 100 метров в океане практически темно — лишь сине-зеленые лучи, ослабленные в тысячи раз, достигают этих слоев. Недаром многие глубоководные рыбы обзавелись своими собственными светлячками-фонариками, чтобы освещать себе дорогу в непроглядной тьме!



В первые десятилетия прошлого века ученые, которым хотелось изучить рельеф океанского дна, прибегали к помощи лота — грузика, опускаемого с корабля на тросе. Ведь свет был бессилен «просверлить» такую толщу воды. И здесь на помощь исследователям неожиданно пришел звук. Оказалось, что он распространяется в воде с довольно приличной скоростью — например, на глубине 1,5 километра в океане при температуре 8—10 °С скорость звука составляет в среднем около 1500 метров в секунду. К тому же с увеличением глубины скорость звука даже растет!

В 1946 году российские физики Л. М. Бреховских и Л. Д. Розенберг обнаружили явление сверхдальнего распространения звука в морской воде. Ученые объяснили это удивительное явление слоистым строением океанов и морей. По мере погружения в океан происходит изменение солености воды, меняется ее показатель преломления. Благодаря этому отдельные слои в океане образуют подводные звуковые каналы, по которым звук низких частот может, попеременно отталкиваясь от стенок канала, распространяться в океане на многие тысячи километров. Как это похоже на путешествие светового луча по световоду! В 1970 году во время научной экспедиции в Атлантику группа океанологов под руководством академика Бреховских открыла существование в океане громадных, диаметром до 300—500 километров, подводных вихрей, подобных циклонам и антициклонам в атмосфере.

Океан оказался совсем не таким простым и однообразным, каким его представляешь себе, когда разглядываешь залитое ровной голубой краской водное пространство на глобусе или карте земного шара. А залито ни много ни мало — целых 70% земной поверхности!

Посылая сильные звуковые сигналы с борта корабля и регистрируя отраженную звуковую волну с помощью эхолотов, ученые смогли в удивительно короткие сроки — за два-три десятилетия — составить подробные карты рельефа океанов и морей. Выяснилось,

в частности, что почти посередине всех океанов проходят громадные горные цепи. Эти цепи-хребты возвышаются на несколько километров над средним уровнем дна океана и иногда даже поднимаются над водой. Вероятно, не все жители Азорских островов в Атлантике знают, что на самом деле они живут не на островах, а на вершинах Срединно-Атлантического хребта, проходящего по дну Атлантического океана между Америкой и Африкой!

Как и у видимых световых волн, у звука тоже нашлись невидимые близнецы-спутники: ультразвук и инфразвук. Ухо человека различает звуковые волны с частотой колебаний от 20 до 20 000 в секунду. Мы не слышим как более частые колебания — ультразвуковые, так и более медленные — инфразвуковые. Однако многие животные и птицы (возможно, чтобы скрыть свои передвижения от человека!) пользуются звуками, которые мы не слышим. Хорошо известны например ультразвуковые локаторы летучих мышей: посылая и ловя отраженные от стен и веток деревьев ультразвуковые волны, летучие мыши легко огибают самые тонкие и мелкие препятствия в кромешной тьме.

Природа часто наделяет свои создания самыми неожиданными «приборами». Многие слышали о четырехглазых рыбах, но, наверное, менее известно, что, например, у кузнечика уши расположены... на его широко расставленных ногах. Это кажется нам странным, но, вероятно, такое техническое решение наиболее разумно: расположи Природа органы восприятия звука на крохотной головке кузнечика, насколько труднее было бы ему узнавать, с какой стороны приближается опасность!

Инженеры и изобретатели наших дней нашли ультразвуку и инфразвуку самые разнообразные применения. Инфразвук оказался очень удобен для дальней подводной связи. Ультразвук применяют для быстрого обнаружения препятствий под водой, он очень хорошо очищает поверхность любых кристаллов от мельчайших загрязнений, дробит руду, «видит» скрытые раковины и дефекты в металлах и сплавах, проникает сквозь ткани человеческого тела, помогает получать объемное изображение внутренних органов человека. Ультразвуку помогает в этом само строение человеческого организма — границы между сосудами и кровью, между опухолью и нормальной тканью по-разному отражают ультразвук, позволяя заметить тонкие изменения в структуре и расположении внутренних органов. При этом ультразвук безвреден для человеческого организма.

У всевидящего рентгеновского излучения, которым нельзя злоупотреблять, появился друг-соперник. Ультразвуковые анализы врач может, если это покажется ему необходимым, делать без всяких последствий для здоровья больного несколько раз в день...

Оглядываясь назад

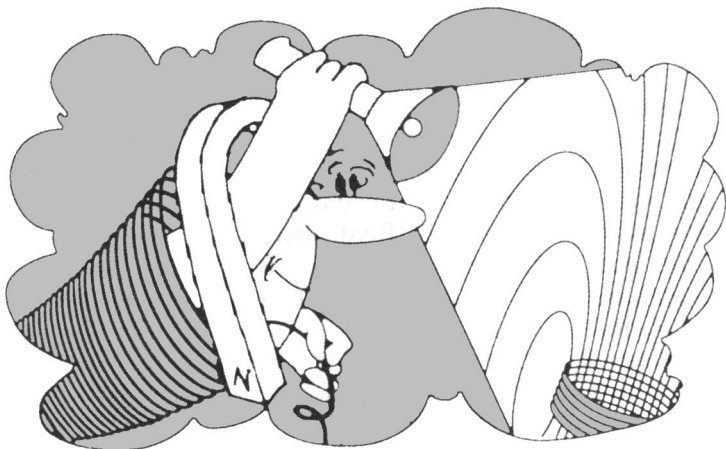
Много нового узнали люди об окружающем мире с тех пор, когда впервые удалось обнаружить невидимые лучи. Конечно, нельзя сказать, что нам знакомы уже все их свойства. Особенно беспокоит сейчас физиков, медиков и биологов, что мы довольно мало знаем о влиянии таких лучей на организм человека. Например, некоторые высокочастотные колебания, специально сфокусированные, могут нагреть внутри больного человека опухоль до губительной температуры в 42—44 °С, оставив холодными окружающие ткани. Это замечательное открытие, сделанное физиками и врачами, возможно, обещает в будущем человечеству избавление от страшного и безжалостного противника — раковых болезней.

Ну, а как взаимодействуют с человеком остальные, более спокойные невидимые излучения? Ведь ими буквально пронизано воздушное и безвоздушное пространство. Инфракрасные лучи передают тепло, радиоволны — знания, ультразвук позволяет заглянуть внутрь тела человека.

...На могильной плите Уильяма Гершеля высечена надпись по-латыни, которая так звучит в русском переводе: «Он сломал засовы небес». Гершель сознавал, что ему первому удалось обнаружить за пределами нашей Солнечной системы множество других систем со своими собственными солнцами. Он впервые предложил использовать такую оригинальную и удобную для астрономии единицу измерения расстояний, как световой год — путь, который луч света пролетает во Вселенной за год непрерывного путешествия. Он открыл планету Уран и 2500 туманностей. Но, вероятно, никогда Уильям Гершель не думал, что скромный опыт с цветной полоской солнечного спектра и несколькими термометрами, позволивший доказать существование невидимых лучей, будет едва ли не чаще вспоминаться потомками, чем его блестящие астрономические открытия.



ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ



Будет ли луч света преломляться в наэлектризованном стекле или воде?

М. В. Ломоносов

Девятнадцатый век оказался для физиков счастливым. В первые годы столетия были опубликованы работы об открытии инфракрасных и ультрафиолетовых лучей, а последние годы ознаменовались обнаружением радиоволн, рентгеновских лучей и радиоактивного излучения. Прекрасное семейство невидимых лучей заметно пополнилось!

Исследования в этой области проводились напряженно и неустанно, но физиков не оставляла беспокойная мысль: чем же объединены столь различные и в то же время похожие виды излучений?

Обручальное кольцо, ставшее знаменитым

Необычным было первое газетное сообщение об открытых профессором Рентгеном лучах, напечатанное венской газетой «Новая свободная пресса» 3 января 1896 года. За словами «сенсационное открытие» следовало не только описание исторических опытов Рентгена, но и снимок кисти руки, похожей на... кисть скелета. На средней фаланге безымянного пальца можно было разглядеть силуэт обручального кольца.

Сфотографированная кисть руки, как вскоре выяснили корреспонденты,

понденты газеты, принадлежала жене профессора — Берте Рентген. Ей первой рассказал Рентген об удивительных лучах, и ее руке была предоставлена честь самым простым и убедительным образом показать, как беспрепятственно проникают новые лучи сквозь человеческое тело, останавливаясь только перед костной тканью. Невидимые лучи позволяют увидеть невидимое — строение скелета, скрытого кожей и мягкими тканями!

Меньше двух месяцев отделяло газетное сообщение от того памятного вечера 8 ноября 1895 года, когда Рентген спустился перед сном немного поработать в свою лабораторию в Физическом институте австрийского города Вюрцбурга. Лаборатория помещалась этажом ниже квартиры профессора, расположенной в том же здании.

В темноте лаборатории рядом с разрядной трубкой слабо светился люминесцентный экран, покрытый кристаллами платиносинеродистого бария. На экран не падал свет, да и трубка была закрыта черным колпаком из окрашенного картона.

В этот момент Рентген вспомнил, что днем забыл выключить разрядную трубку. Щелчок выключателя, трубка погасла, и... с нею вместе погас экран.

Что же за таинственные лучи, свободно проходившие через черный картонный колпак, испускала трубка? Рентген снова включил электропитание и стал отодвигать экран от трубки, но на расстоянии 1,5—2 метра экран продолжал светиться.

Разрядная трубка представляет собой простое устройство: в стеклянный сосуд, из которого откачан воздух, впаяны с противоположных концов два металлических электрода. Когда между электродами создается достаточно большое напряжение, вспыхивает разряд. Внутри сосуда можно ввести чуть-чуть азота, кислорода или просто оставить там немного воздуха. От отрицательного электрода (катода) почти до самого положительного электрода (анода) тянется фиолетовый столб светящихся газов.

Рентген еще не знал убедительного вывода, который сделает через два года глава английской школы физиков Дж. Дж. Томсон: катодные лучи — поток отрицательно заряженных частиц — электронов, выбиваемых при разряде в трубке с поверхности катода. Но Рентгену было хорошо известно, что катодные лучи могут пролететь в воздухе лишь немногим больше сантиметра. Нет, не они заставляют светиться экран.

Световое излучение стекла, возникавшее под действием катодных лучей, не попадало на экран: его полностью поглощал черный колпак. Значит, катодные лучи заставляют стекло испускать какие-то совсем иные лучи, обладающие большой энергией и проникающей способностью?

Семь бессмертных недель

Сейчас трудно воссоздать ход мыслей Рентгена вечером 8 ноября 1895 года, но его действия совершенно определенно говорят об од-

ном: ученый отчетливо понял, что он на пороге открытия огромного научного и практического значения.

В течение семи недель Рентген работал почти круглосуточно. За эти дни и ночи он успел сделать столько, что последующие десятилетия исследований не смогли прибавить что-либо существенное к свойствам изученных им икс-лучей. Такое скромное название дал Рентген новым невидимым лучам. Очень скоро весь мир справедливо стал называть их по-другому: рентгеновскими лучами.

Рентген обнаружил, что открытые им лучи свободно проходят через книгу, стекло, деревянный ящик, колоду карт. Вероятно, самым волнующим был момент, когда Рентген поднес к разрядной трубке зажатый между пальцами кусок станиоля — бумаги, покрытой тонким слоем олова, и увидел на светящемся экране изображение кисти своей руки. Кисть на экране повторяла все движения живой кисти. Этот момент определил наиболее известное практическое применение рентгеновских лучей — просвечивание тела человека в медицинских целях.

Рентген заменил светящийся экран фотопластинкой и научился фотографировать предметы в рентгеновских лучах. Он сделал много интересных фотографий: латунные гири были отчетливо видны сквозь деревянный ящик, в котором они лежали; Рентген снимал свой кабинет через закрытую дверь, и на снимке можно разглядеть физические приборы.

Перед самым Новым годом, 28 декабря 1895 года, Рентген решил познакомить с проделанной работой своих коллег. На тридцати страницах он описал выполненные опыты, отпечатал статью в виде отдельной брошюры и разослал ее вместе с фотографиями ведущим физикам Европы.

Несмотря на скромное название, которое дал своей статье Рентген: «О новом роде лучей. Предварительное сообщение», она вызвала огромный интерес в разных странах. Венский профессор Экспер сообщил об открытии новых невидимых лучей в газету «Новая свободная пресса». В Санкт-Петербурге уже 22 января 1896 года опыты Рентгена были повторены во время лекции в физической аудитории университета. В рентгеновских лучах была сфотографирована рука одного из присутствующих, и к концу лекции проявленная фотопластинка была всем показана. Брошюру Рентгена в течение нескольких дней перевели на русский язык и опубликовали. В Америке в городе Дортмунде 20 января 1896 года врачи впервые увидели сквозь кожу перелом руки больного, имя и фамилию которого история для нас сохранила: Эдди Мак-Карти.

Фотографии, сделанные в рентгеновских лучах, заполнили газеты и научные журналы. Фотографии поразительные, полезные и иногда курьезные. Человек, раненный на охоте в руку случайным выстрелом, мог разглядеть на снимке между фалангами пальцев многочисленные дробинки. На снимке ноги человека в ботинке видны кости и... гвозди в каблуке. А однажды врачи долго не верили своим глазам: на

рентгеновском снимке желудка ребенка отчетливо проступил проглоченный им... металлический игрушечный кораблик.

Бесценный дар

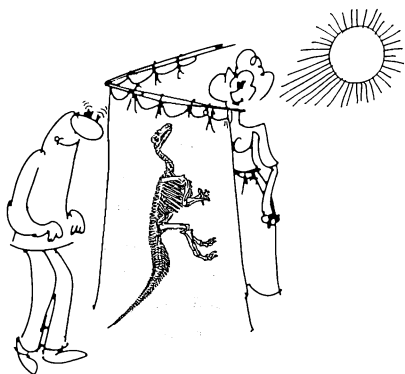
Скромный, сдержанный и немногословный профессор Рентген стал знаменитостью. Он соорудил в лаборатории большой цинковый ящик-шкаф, в котором на уровне глаз человека было сделано единственное окошко, да и то закрытое фольгой из алюминия. На полке внутри шкафа лежали лист картона, покрытый слоем люминофора, и толстая книга. Своим многочисленным посетителям Рентген предлагал зайти в шкаф, в полной темноте найти лист картона и поднести его к алюминиевому окошку. За окном Рентген включал разрядную трубку. Лист картона начинал светиться. Между окном и картоном оставалась толстая книга, но свечение по-прежнему было ярким!

Рентген не стал оформлять патента, подарив свое открытие человечеству. Это дало возможность конструкторам разных стран мира изобретать разнообразные рентгеновские аппараты. Врачи хотели с помощью рентгеновских лучей узнать как можно больше о недугах своих пациентов. Вскоре они смогли судить не только о переломах костей, но и об особенностях строения желудка, о расположении язв и опухолей. Обычно желудок прозрачен для рентгеновских лучей, и немецкий ученый Ридер предложил кормить больных перед фотографированием... кашей из сульфата бария. Это вещество безвредно для организма и значительно менее прозрачно для рентгеновских лучей, чем мускулы или внутренние ткани. На снимках стали видны любые сужения или расширения пищеварительных органов человека.

В процессе опытов Рентген выяснил, что металлы еще активнее, чем стекло, испускают рентгеновское излучение, когда на них направлен поток катодных лучей — электронов. В современных рентгеновских трубках поток электронов излучает раскаленная вольфрамовая спираль, против которой расположен антикатод из тонких

пластинок железа или вольфрама. При бомбардировке атомов этих металлов быстро летящими электронами и возникает поток рентгеновских лучей.

Еще более мощные источники лучей Рентгена были найдены недавно вне пределов Земли. В недрах новых и сверхновых звезд идут процессы, при которых возникает рентгеновское излучение большой интенсивности. Измеряя достигаю-



щие Землю потоки рентгеновского излучения, астрономы могут судить о явлениях, происходящих за многие миллиарды километров от нашей планеты. Так возникла новая область науки — рентгеноастрономия.

Ученые обнаружили, что в окружающей Солнце серебристой оболочке-короне скорость электронов достигает величин, характерных для вещества, разогретого до миллиона градусов! А если есть быстрые энергичные электроны, то при их соударениях с солнечным веществом должно возникать рентгеновское излучение. Предположения исследователей оправдались — чувствительная аппаратура зарегистрировала, что от короны Солнца мчится к Земле заметный поток рентгеновских лучей.

Установленные на орбитальных космических станциях приборы теперь внимательно ловят не только ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучение далеких звезд, но и рентгеновские лучи, исходящие от них.

Лучший на свете оптик — природа

Вскоре после открытия Рентгена физики начали склоняться к мысли, что рентгеновские лучи очень похожи по своим свойствам на обычные оптические лучи, только у них длина волны меньше. Если длина волны зеленого света составляет 0,55 микрона, то длина волны рентгеновских лучей, видимо, в несколько тысяч раз меньше! Чтобы подтвердить эти теоретические прогнозы, необходимо было доказать, что лучи Рентгена могут преломляться, огибать препятствия, взаимодействовать друг с другом, как это делают обычные оптические лучи. Вот если бы удалось с помощью каких-либо удивительных призм или дифракционных решеток получить спектр рентгеновских лучей!

В 1912 г. ученика Рентгена Макса Лауэ озарила идея: дифракционной решеткой для рентгеновских лучей мог бы стать кристалл! Потому что промежутки между атомами, образующими кристалл, сравнимы с предполагаемой длиной волны рентгеновских лучей. Атомы в кристалле расположены упорядоченно, образуя стройные шеренги и колонны. Ряды атомов чередуются с той же регулярностью, что и штрихи на стекле в дифракционной решетке. Сама Природа создала оптические приборы для изучения рентгеновских лучей! Макс Лауэ удалось экспериментально проверить эту удачную идею. Узкий пучок рентгеновских лучей, полученных с помощью разрядной трубки и нескольких свинцовых экранов с маленькими отверстиями, он направлял по очереди на кристаллы различных материалов: сульфида цинка, поваренной соли, сульфата никеля. Фотопластинка сначала была расположена перед кристаллами, но отраженного потока рентгеновских лучей не обнаружили. Затем поставили фотопластинку за кристаллами, проявили ее и увидели симметричный узор из мелких темных пятен, расположенных вокруг сравнительно большого центрального пятна. По расчетам, выполненным Лауэ, именно такой должна

быть картина дифракции — огибания рентгеновскими лучами сложной пространственной решетки, состоящей из многих атомов!

Прошел еще год, и в 1913 г. опыты Лауэ были воспроизведены в России и Англии, правда, с одним существенным изменением: рентгеновские лучи направлялись на кристаллы под разными углами к их поверхности. Сравнение рентгеновских изображений, полученных при этом на фотопластинках, позволило исследователям точно определить расстояния между атомами в кристаллах.

Так в физике были зафиксированы два фундаментальных научных факта: рентгеновские лучи обладают такими же волновыми свойствами, как и световые лучи; с помощью рентгеновских лучей можно исследовать не только внутреннее строение человеческого тела, но и заглянуть вглубь вещества. По рентгеновским снимкам ученые теперь могли легко отличить кристаллы от аморфных тел, обнаружить сдвиги цепочек атомов в глубине непрозрачных для света металлов и полупроводников, определить, какие изменения в структуре кристаллов происходят при сильном нагревании и глубоком охлаждении, при сжатии и растяжении.

Современная техника не могла бы получить в свое распоряжение то разнообразие материалов, которыми она располагает сегодня благодаря рентгеновскому анализу. Возможность разглядеть происходящее внутри твердого тела позволила понять причины многих «странностей» в поведении материалов, которые до тех пор казались необъяснимыми. Пузырьки воздуха в сварном шве, глубинная трещинка в «уставшем» металле, следы быстрой заряженной частицы в полупроводниковом кристалле стали видны как на ладони.

Здесь, вероятно, уместнее всего вспомнить слова римского поэта Вергилия, которые любил повторять Томас Юнг: «Счастлив тот, кто сумел вещей постигнуть причины...»

Слава плохой погоде!

Открытие Рентгена замечательно не только тем, что дало возможность понять строение вещества и не только широким практическим применением. Оно взбудоражило мысль ученых, уже было решивших, что здание физики построено окончательно и в Природе больше не осталось ничего неизвестного.

Повлияло сообщение об обнаружении рентгеновских лучей и на французского академика Анри Беккереля, изучавшего явление люминесценции и стремившегося разгадать природу таинственного свечения некоторых веществ после воздействия на них солнечного излучения. Беккерель собирает огромную коллекцию светящихся химикатов и природных минералов. Слушая сообщение об опытах Рентгена на заседании Французской академии 20 января 1896 г. и наблюдая за демонстрацией возникновения рентгеновских лучей в разрядной трубке, Беккерель неотрывно следит за зеленоватым светящимся пятном на стекле около катода. Ученого преследует

неотступная мысль: может быть, свечение образцов его коллекции тоже сопровождается испусканием рентгеновских лучей? Ведь если эти два явления неразрывно связаны, то рентгеновские лучи можно будет получать, не прибегая к помощи разрядной трубки!

В течение нескольких дней Беккерель обдумывает намеченный им эксперимент, затем выбирает из своей коллекции двойной сульфат урана и калия, спрессованный в небольшую таблетку, кладет соль на фотопластинку, спрятанную от света в черную бумагу, и выставляет пластинку с солью на солнце. Под влиянием солнечных лучей соль стала ярко светиться, но на защищенную фотопластинку это свечение не могло попасть. Беккерель едва дождался момента, когда фотопластинку можно было достать из проявителя. На пластинке явственно проступало изображение таблетки из соли. Неужели все верно и соль в ответ на облучение солнечными лучами испускает не только свет, но и рентгеновские лучи?

Беккерель проверяет себя еще и еще раз. 26 февраля 1896 г. выдалось пасмурным, и Беккерель с сожалением прячет приготовленную к эксперименту фотопластинку с солью в стол. Между таблеткой соли и фотопластинкой на этот раз он положил маленький медный крестик, чтобы проверить, пройдут ли сквозь него рентгеновские лучи. Вероятно, немногие открытия в науке обязаны своим происхождением плохой погоде. Если бы конец февраля 1896 г. в Париже был солнечным, то, возможно, не было бы обнаружено одно из самых важных научных явлений, разгадка которого привела к перевороту в современной физике. Беккерель, так и не дождавшись появления солнца, 1 марта 1896 г. вынул из ящика ту самую фотопластинку, на которой несколько дней пролежали крестик и соль, и на всякий случай проявил ее. Каково же было его удивление, когда он увидел на проявленной фотопластинке четкое изображение и крестика, и таблетки из соли! Значит, солнце и люминесценция здесь ни при чем?

Как и Рентген за полгода до этого, Беккерель провел несколько недель в лихорадочной самозабвенной работе. Он перепробовал все вещества своей коллекции, проверив их способность испускать неведомое излучение как на солнце, так и в темноте. Вывод Беккереля был однозначным: излучают только те химические соединения и минералы, в которых содержится уран. Какая удивительная удача, что он выбрал для первого же опыта соль урана! Веру Беккереля в связь между люминесценцией и возникновением рентгеновских лучей окончательно разбил один из его последних экспериментов в ту прекрасную парижскую весну: неведомые лучи излучали сильнее всего не соли урана, а сам уран, который никогда не светился после облучения солнечным светом!

Все дороги ведут... к человеку

Беккерелю стало ясно, что редкостная случайность, вернее, цепочка случайностей, которая, как известно, помогает только на-

стойчивым, пытливым и подготовленным умам, позволила ему открыть невидимое излучение. Последователи и продолжатели работ Беккереля — супруги Кюри — назовут это излучение радиоактивным. Дальнейшее изучение Резерфордом, Бором, Ферми, Жолио-Кюри и Курчатовым радиоактивного излучения и его воздействия на вещество приведет к расшифровке строения атома и атомного ядра, к высвобождению из недр материи спрятанных в ней необъятных сил — атомной энергии.

Радиоактивное излучение, как и лучи Рентгена, с самого начала своего появления на свет оказалось связанным с медициной. Однажды перед лекцией Анри Беккерель зашел в лабораторию Пьера Кюри и попросил у него радиоактивный препарат. Положив коробку с препаратом в карман жилета, Анри Беккерель носил его с собой целый день и вынул лишь под вечер. Через десять дней на груди Беккереля (в месте, расположенном прямо против жилетного кармана!) возникло красное пятно, которое скоро превратилось в язву. Врачи с трудом смогли ее залечить только через месяц. Пьер Кюри, как истинный и отважный исследователь, тут же повторил, уже сознательно, случайный опыт Беккереля на себе самом. Тот же самый результат...

Врач парижского госпиталя, которому Кюри рассказал о случившемся, сделал вывод о том, что с радиоактивными препаратами надо работать очень осторожно. Он подумал, что в небольших дозах радиоактивное излучение будет даже полезным, позволяя разрушать вредные для организма вещества. Ведь врачи давно знают, что многие убивающие человека и животных яды, принимаемые в небольших количествах, служат лекарствами!

Сравнение с ядами полностью оправдалось на практике. Радиоактивное излучение прекрасно боролось с заболеваниями кожи и, самое главное — разрушало клетки быстро растущих опухолей на поверхности тела больных. Теперь с помощью радиоактивного излучения врачам удастся убивать клетки опухолей и внутри организма. Чтобы не повредить при этом здоровые ткани, иногда приходится пускаться на хитрость: кормить пациента особой пищей с веществом, испускающим радиоактивное излучение. Эти вещества легче всего накапливаются в опухоли, где клетки больше и кровеносные сосуды шире. Радиоактивное вещество, как троянский конь, пробравшийся в стан противника, побеждает его изнутри.

Радиоактивные лучи, как и лучи Рентгена, обнаружили много общего со светом, только длина их волн еще меньше. Если длина волн рентгеновских лучей составляет от единиц до нескольких десятков ангстрем, то длина волн радиоактивного излучения измеряется начиная с десятых до тысячных долей ангстрема!

На дальних подступах к «природе вещей»

Оба вида излучения роднит не только способность проникать сквозь одежду, ткани, дерево, но и польза, которую они приносят медицине; рентгеновское и радиоактивное излучения обладают достаточной энергией, чтобы в одинаковой мере ионизировать воздух! Отрывая электроны от атомов газов, составляющих атмосферу Земли, эти излучения делают воздух немного проводящим, состоящим из заряженных ионов.

Первые исследователи замечали эту особенность новых невидимых лучей по опаданию листочков электроскопа — старинного прибора, легкие лепестки которого под влиянием накопленного статического заряда поднимаются вверх. Как только воздух под действием лучей Рентгена или Беккереля становился проводящим, заряд с лепесточков прибора стекал на землю, и они опадали, будто призываясь в свое бессилие перед могучим противником.

Все нагляднее проступало не только сходство невидимых лучей со светом, но и их связь с электрическими явлениями. Потоку электронов обязано рентгеновское излучение своим возникновением; движение электронов в газе, в воздухе, в твердом теле способно вызвать оно само.

О связи света и электричества ученые размышляли очень давно. Ломоносов в России и Юнг в Англии обдумывали схемы опытов, которые позволили бы однозначно доказать влияние света и электричества друг на друга. Ломоносов был даже убежден, что свет можно превратить в электричество. В его черновых заметках есть запись: «Отведать в фокусе зажигательного стекла или зеркала электрической силы». Опыт, который ученые успешно осуществляют лишь через два века!

Особенно много поводов для таких размышлений давало открытое в 1670 году Эразмом Бартолином явление двойного лучепреломления света в природных кристаллах углекислого кальция, получивших название исландского шпата. Большие прозрачные кристаллы этого минерала во времена Бартолина находили в Исландии, откуда он и получил свое название. Свет, проходя через эти кристаллы, давал не один, как обычно, а два преломленных луча!

Даже в том случае, когда луч света падал в направлении, перпендикулярном поверхности кристалла, внутри кристалла появлялись два луча: один луч, получивший название обыкновенного (он продолжал идти в том же направлении, что и падающий луч); второй луч — необыкновенный — заметно преломлялся и лишь по выходе из кристалла шел параллельно обыкновенному лучу. По аналогии с цветами спектра ученые предположили, что оба луча содержатся в исходном свете и благодаря каким-то особым свойствам кристалла исландского шпата их удастся разделить.

Ньютон, раздумывая над опытами Бартолина и Гюйгенса (тоже много экспериментировавшего с исландским шпатом), пришел к выводу, что частицы света, световые корпускулы, очень похожи на крохотные магнетики, обладающие полюсами. Свойства таких частиц,

естественно, должны быть различными в направлениях, параллельном полюсам и перпендикулярном к ним. Характеристики кристалла исландского шпата тоже зависят от направления прохождения света через него. Он обладает, как говорят кристаллографы, анизотропией. Именно поэтому исландский шпат может разделить луч света на две составляющие.

Ньютон больше не возвращался к вопросу о прохождении света через анизотропные кристаллы. Видимо, он считал, что для создания логичной теории двойного лучепреломления фактов накоплено еще недостаточно. Но конечно, не объясненное до конца явление не давало покоя ученым.

Сейчас кажется очень простым следующий шаг, который был сделан в изучении двойного лучепреломления. Если повернуть кристалл на определенный угол по отношению к падающему лучу, можно добиться положения, когда один из лучей совсем останется в веществе, а другой будет по-прежнему преломляться и «уйдет» из кристалла. Ведь обыкновенные и необыкновенные лучи преломляются по-разному!

Полное отражение света от границы раздела двух прозрачных сред обязано своим происхождением, как мы уже хорошо знаем, очень похожему явлению. Именно оно позволило в середине XX века создать тончайшие волокна — стеклянные провода для света. Однако со времени открытия Бартолина прошло почти 150 лет, прежде чем ученые обнаружили такую возможность.

Как много можно увидеть в окнах дворца!

Сделал этот шаг очень талантливый человек, которого звали Этьен-Луи Малюс. Его занятия и увлечения были самыми разнообразными: всесторонне образованный инженер, выпускник Политехнической школы, Малюс в то же время писал стихи, поэмы, трагедии, читал наизусть большие отрывки из Гомера, Горация, Вергилия. Участвуя в военных походах Наполеона в Египте, он обнаружил развалины старинного города; занимался оптикой и... сочинял фразы-афоризмы, полные тонкого знания человеческой природы. Вот, например, одна из них, записанная на листке у походного костра: «Я не люблю людей, которые взвешивают благодеяния». Видимо, совсем не случайно, что именно такому разносторонне подготовленному человеку удастся сделать замечательное открытие.

В 1808 году Малюс жил на улице Анфер в Париже напротив Люксембургского дворца. Однажды вечером, когда скользящие лучи солнца освещали окна дворца, Малюс стал рассматривать отраженные от окон блики солнечного света через кристалл исландского шпата. Его поразило, что при некоторых положениях кристалла он видел вместо двух преломленных лучей только один!

Сначала Малюс решил, что замеченное им явление объясняется

переменчивым состоянием атмосферы, быстрыми и внезапными изменениями в яркости солнечного света, обычно незаметными для глаза. Едважда дождавшись наступления темноты, Малюс соорудил на столе «сложную» оптическую систему, состоявшую из восковой свечи, чаши с водой, угломера и кристалла исландского шпата. Вот с какими приборами в прошлом веке можно было сделать открытие!

Постепенно поднимая чашу, Малюс изменял угол падения света восковой свечи на воду. Лучи света, отраженные от гладкой поверхности воды, Малюс рассматривал через кристалл. Когда угол падения лучей достиг 36° , один из преломленных в кристалле лучей исчез. Чаша опустилась, угол падения увеличился — оба луча, обыкновенный и необыкновенный, снова появились. Малюс заменил чашу с водой на стеклянное зеркало — и снова повторилась та же картина, но на этот раз один из преломленных лучей исчез, когда лучи падали под углом 35° . Из этих опытов следовало, что стекло и вода могут так изменить свойства отраженного света, что кристаллы исландского шпата при освещении этим светом полностью теряют способность к двойному лучепреломлению.

Конечно, ученым очень понравилось, что обыкновенный и необыкновенный лучи можно теперь разделить друг от друга, но двойное лучепреломление сделалось от этого еще загадочнее.

Открытое явление Малюс назвал поляризацией. Лучи, прошедшие кристалл исландского шпата или отраженные стеклом или водой, Малюс стал именовать «поляризованными» лучами. Возможно, при этом он вспомнил о полюсах, которыми Ньютон наделил свои световые корпускулы. Малюс вывел формулу и закон, применяемые до сих пор для определения степени поляризации света, но установить причину странных явлений, возникающих при отражении от диэлектриков, не смог. Он несомненно чувствовал, что разгадка заключается в связи света с электричеством. В связи, еще не раскрытой во времена Малюса.

В конце своей короткой, насыщенной жизни (он умер от чахотки, когда ему было 37 лет) Малюс писал: «...новые явления приближают нас еще на один шаг ближе к истине, доказывая недостаточность всех теорий, придуманных физиками для объяснения отражения света».

Электричество превращается в свет

В разных странах Европы велось настойчивое изучение новых, не до конца понятых физических явлений. В 1802 г. замечательному русскому ученому, академику Василию Владимировичу Петрову удалось сделать открытие мирового значения. Сближая две угольные палочки, соединенные с огромным вольтовым столбом (составленным из сотен гальванических элементов), Петров впервые в мире наблюдал возникновение дугового плазменного разряда между ними, световую дугу ослепительно белого цвета, превращение электричества в свет! Петров прекрасно понимал практическое значение своего от-

крытия. В его сообщениях об этих опытах есть строчки, объясняющие, что при приближении углей друг к другу возникает «яркий белого цвета свет или пламя... от которого темный покой довольно ясно освещен быть может».

В 1876 году русский изобретатель П. Н. Яблочков создаст первую электрическую лампу, в центре которой между двумя электродами будет гореть электрическая дуга... Как жаль, что в начале XIX века труды русских ученых не переводились на иностранные языки! Академик С. И. Вавилов писал в своем очерке, что труды В. В. Петрова, «...напечатанные на русском языке, оставались неизвестными за границей потому, что там не понимали русского языка, а в России — потому, что не понимали сути дела...».

Знаменитый английский химик сэръ Гэмфри Дэви в 1808 году тоже зажжет электрическую дугу, не подозревая о том, что он не первооткрыватель.

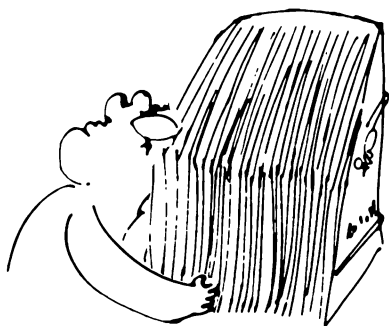
Ученые тоже любят играть в кубики... из кристаллов

Раскрытие секретов Природы продолжалось. Среди многих минералов, найденных геологами, внимание физиков привлекли зеленые кристаллы турмалина. При преломлении света в них тоже сначала возникали два луча, но затем один из них — обыкновенный — почти полностью поглощался в толще кристалла и через другую грань на свет выходил лишь один луч — необыкновенный. Он легко проходил через турмалин только в одном определенном направлении, совпадающем с осью кристалла. Пропуская необыкновенный луч через второй кристалл турмалина и поворачивая при этом кристалл вокруг оси, можно было постепенно погасить и его. Получался плавный регулятор яркого света, состоящий из двух небольших кристаллов!

Шотландский физик Уильям Николь в 1820 г., используя явление, открытое Малюсом, изобрел составную призму, склеенную из двух кристаллов исландского шпата. В линзе Николя обыкновенный луч полностью отражается от границы двух кристаллов и уходит через боковую грань призмы; необыкновенный луч проходит прямо, в том же направлении, что и пучок белого света, освещающий призму. Так ученые получили в свое распоряжение оба луча по отдельности и теперь могли обстоятельно исследовать их свойства.

«Честь делать открытия»

Интересные и сложные опыты задумали сделать в конце десятих годов прошлого века Огюстен Френель и Франсуа Араго: изучить взаимодействие, интерференцию обыкновенного и необыкновенного лучей между собой. Им очень хотелось продвинуться в изучении интерференции дальше Томаса Юнга. Незадолго перед этими опытами друзей постигло неожиданное разочарование — они узнали, что экс-



перименты по интерференции двух пучков белого света, которые Френель только-только закончил, Юнг сделал еще в 1807 году!

Когда приехавшие в Англию в 1816 году члены Французской академии Араго и Гей-Люссак были в гостях у Юнга и рассказывали ему об опытах Френеля, жена Юнга, заметив смущенную улыбку на лице мужа, встала и молча вы-

шла из комнаты. Вернувшись с огромным томом в руках (это оказался первый том лекций Юнга), она раскрыла его на странице 787, где были описаны аналогичные опыты Юнга, выполненные им девять лет назад.

Спокойнее всех воспринял случившееся сам Френель. Он отправил Юнгу дружеское письмо. Совпадение результатов, писал Френель, укрепило его в мысли, что замеченные явления интерференции и дифракции света — не ошибка эксперимента. Френель, теперь уже вместе с Араго, ставит новые опыты. Опыты, которые в те времена физики оплачивали сами. «Один опыт стоил мне 80 франков, потраченных на приборы, — пишет Френель брату 28 ноября 1817 года, — ты видишь, таким образом, что в физике надо покупать честь делать открытия».

Удивительные результаты получили Френель и Араго: два обыкновенных луча легко интерферируют между собой, два необыкновенных — тоже, но обыкновенный и необыкновенный лучи взаимодействовать отказывались. Новое открытие, новый повод для серьезных размышлений...

Как трудно расставаться с прошлым

После долгих раздумий Френель и Юнг практически одновременно приходят к выводу: свет распространяется за счет поперечных колебаний эфира. Сколько лет довели над учеными эти два представления: первое — движение света похоже на распространение звука, представляющее собой продольные колебания, сгущения и разрежения воздуха в том же направлении, в каком распространяется звук; и второе — для света, как и для звука, необходима особая среда — эфир!

И вот первому из этих неверных представлений приходит конец... Ученые открыли, что частицы «светоносного» эфира колеблются поперек направления движения света. Эти колебания лежат в одной и той же плоскости, перпендикулярной к движению светового луча, но могут происходить в ней под самыми разными углами.

Такое объяснение дает возможность понять явление поляризации. Кристаллы турмалина и исландского шпата сортируют лучи, выде-

ляя из них те, для которых прозрачна кристаллическая решетка этих веществ. А прозрачность решетки, те направления, в которых сквозь них могут беспрепятственно проходить лучи света, зависят в свою очередь от расположения атомов, от внутренней структуры кристаллов. Два обыкновенных луча колеблются в одной плоскости, они очень похожи по своим свойствам и легко взаимодействуют. Колебания в обыкновенном и необыкновенном луче перпендикулярны друг другу и интерферировать такие лучи не могут.

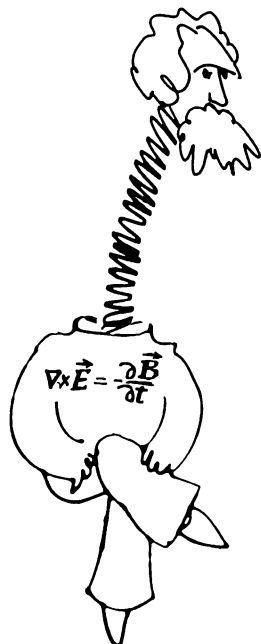
Трудно далось выдающимся физикам это объяснение. Ведь даже их верный коллега Франсуа Араго не мог примириться с мыслью, что свет — это поперечные колебания. Но научных данных, подтверждающих справедливость гипотезы Френеля и Юнга, накапливалось все больше. Недалек был тот час, когда отпало и предположение о существовании эфира.

Сейчас кажется странной такая стойкая «живучесть» гипотезы о световом эфире. Ведь довольно давно ученые провели показательный эксперимент: колокольчик помещался под стеклянный колпак и из-под него вакуумным насосом выкачивался воздух; колокольчик раскачивали в пустоте, но уже никто не мог услышать его звона. Убедительное доказательство, что звук возникает при движении частиц воздуха, не правда ли? При этом ученые замечали, что свет продолжает беспрепятственно проходить через стеклянный колпак, вне зависимости от того, есть там воздух или нет. Значит, движение света определяется другими законами? Закономерный вопрос, однако, повисал в воздухе — для однозначных выводов еще не хватало научных фактов.

Рождение новой теории

В 1845 году знаменитый английский ученый Майкл Фарадей поставил эксперимент, которого, казалось, ждали все физики. Помещая различные вещества внутрь электромагнита и освещая их поляризованным светом, Фарадей обнаружил, что при пропускании тока и возникновении магнитного поля те вещества, которые до сих пор относились к свету довольно «равнодушно», начинали вдруг вращать плоскость поляризации лучей, и интенсивность проходящего света изменялась.

Размышляя над этими опытами Фарадея, выдающийся физик-теоретик Джеймс Клерк Максвелл пришел к выводу, что столь явное взаимодействие света и магнитного поля может происходить только по одной причине: свет — это электромагнитная волна, рождает-



мая движением быстрых заряженных частиц. Вокруг любой заряженной частицы, находящейся в движении, возникает электромагнитное поле. Поле распространяется все дальше от частицы в виде волны электромагнитных колебаний, поперечных направлению движения. Такие колебания могут перемещаться и в пустоте, им не нужен эфир, и они взаимодействуют с другими электромагнитными колебаниями, если для этого имеются подходящие условия.

Основные работы Максвелла — статья «Динамическая теория электромагнитного поля» и книга «Трактат об электричестве и магнетизме» — были написаны в 1864—1865 годах и содержали глубокие и ясные теоретические выводы. Теория Максвелла объясняла и объединяла многие непонятые до него электромагнитные явления. Свет, по мнению Максвелла, лишь один из видов электромагнитных колебаний, существующих в природе.

Всеобщее признание, однако, пришло к теории Максвелла лишь через 28 лет! Его теоретические построения ждали конца восьмидесятых годов прошлого века, когда Генрих Герц подтвердил своими уникальными опытами, что движение электрических зарядов вызывает возникновение электромагнитных волн, обнаружил эти электромагнитные волны экспериментально!

Решающие опыты

Герц создавал колебания зарядов в электрическом контуре-вибраторе и наблюдал, как в расположенном рядом контуре-резонаторе проскакивали искры и возникали электромагнитные колебания. Удивительные опыты Герца затем успешно повторялись во многих странах и лабораториях мира. С раздумий над опытами Герца начались, как мы знаем, замечательные исследования Александра Степановича Попова, которые привели затем к изобретению радиосвязи.

Герц назвал зарегистрированные им колебания лучами электрической силы. Он обнаружил, что электрические лучи интерферируют и преломляются в призме, сделанной из асфальта, точно так же, как световые лучи преломляются в стеклянной или кварцевой призме или линзе. Отличаются эти лучи лишь частотой колебаний или длиной волны: для лучей Герца длина волны составляла от 60 сантиметров до нескольких метров, в то время как длина волны световых лучей — от 0,4 до 0,75 микрона. Генрих Герц писал: «...представляется весьма вероятным, что описанные опыты доказывают идентичность света, тепловых лучей и электромагнитного волнового движения».

Опыты Герца заставили ученых все чаще вспоминать о смелой теории Максвелла, объединившей все световые и электрические явления в единое целое. Расчеты показали, что скорость электромагнитных волн Герца равна скорости света!

Научных фактов в пользу теории Максвелла накапливалось все больше. Подтвердилось соотношение, выведенное Максвеллом, по которому показатель преломления любого вещества равен корню ква-

дрантному из произведения его диэлектрической и магнитной проницаемостей. Тем самым между электрическими и оптическими свойствами вещества устанавливалась четкая и очевидная связь.

Нашли простое объяснение открытия Бартолина и Малюса: в световом луче, содержащем поперечные электромагнитные волны самых различных ориентаций, при отражении от диэлектриков или прохождении через анизотропные кристаллы остаются волны, колебания которых лежат в строго определенной плоскости, — поляризованные волны.

В 1878 году английский физик Джон Керр обнаружил, что можно в любом однородном веществе, например в жидкости или газе, наблюдать явление двойного лучепреломления под действием сильного электрического и магнитного полей. Еще одно подтверждение тесной связи оптических и электрических свойств вещества и одновременно свидетельство того, что газ или жидкость при определенных условиях становятся похожими на анизотропные кристаллы!

Как это близко к научным чудесам по превращению одних веществ в другие!

Встреча... в учебнике физики

Стало совершенно ясно, что все виды видимых и невидимых излучений — радиоактивное, рентгеновское, инфракрасное, радиоволны — имеют одинаковую электромагнитную природу и отличаются лишь длиной волны. Возникло представление о всеобщей шкале электромагнитных колебаний. У совершенно как будто разнородных явлений оказалась одна и та же сущность, одна электромагнитная природа.

Ученым хотелось выполнить еще лишь один эксперимент: с помощью электрического контура-вибратора «произвести на свет» очень короткие электромагнитные волны, например инфракрасные. Тогда одно и то же устройство позволяло бы получать и радиоволны, и оптическое излучение!

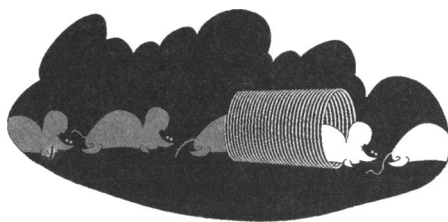
Русский физик П. Н. Лебедев, итальянец А. Риги, немецкий ученый Г. Рубене сумели постепенно уменьшить длину волны колебаний, излучаемых контуром, с нескольких сантиметров до долей миллиметра. В 1922 году молодой преподаватель Московского университета А. А. Глаголева-Аркадьева сообщила на физическом съезде, что ей удалось создать электрический вибратор нового типа, который служит источником инфракрасных лучей с длиной волны менее 0,1 миллиметра. До сих пор эти лучи ученые обнаруживали только в спектре теплового излучения различных тел. Оптический и радиоволновой диапазоны всеобщей электромагнитной шкалы сомкнулись! В учебниках физики во всем мире эти виды излучений с тех пор стоят рядом.

Неразрывная связь

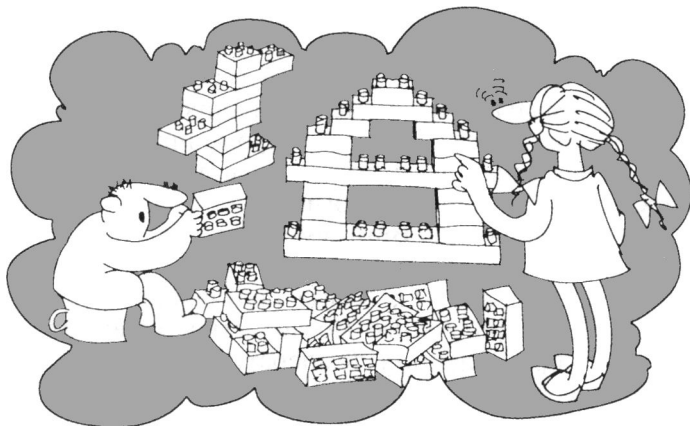
Как всегда, успехи физики сопровождались созданием новых технических устройств и приборов. В 1935 г. в продажу поступили поляроиды — тонкие, специально растянутые целлюлозные пленки, покрытые мелкими кристалликами герпатита. Свойства пленок были почти одинаковыми со свойствами толстых кристаллов турмалина! Эти пленки, надетые на фары и ветровые стекла автомобилей, защищают водителей ночью от слепящего света встречных машин: пассажиры и водитель видят только отраженный под углом 45 градусов от дороги свет собственных фар.

Широко используются во многих современных физических приборах и устройствах ячейки Керра: на их основе созданы оптические затворы, мгновенно прерывающие свет под действием электрического сигнала. Горят на наручных электронных часах цифры, нарисованные слоем «краски» из кристаллических пленок: для этого им нужен лишь маленький импульс тока от крохотной электрохимической батарейки, спрятанной внутри часов.

Вот сколько нового открыла найденная учеными связь света и электричества! Справедливы слова академика С. И. Вавилова: «Непрерывная, победоносная война за истину, никогда не завершающаяся окончательной победой, имеет, однако, свое неоспоримое оправдание. На пути понимания природы света человек получил микроскопы, телескопы, дальномеры, радио, лучи Рентгена; это исследование помогло овладению энергией атомного ядра. В поисках истины человек безгранично расширяет области своего владения природой. А не в этом ли подлинная задача науки?»



ЗЕРНИСТОЕ СТРОЕНИЕ МАТЕРИИ



Солнечный свет, как и жар, состоит из мелких начальных частичек.

*Лукреций Кар,
I век до нашей эры*

Прежде чем описать достижения ученых в области обнаружения мельчайших частиц вещества, получивших название элементарных, и рассказать о теориях, объясняющих взаимодействие этих частиц, мы должны вернуться назад, к тому времени, когда в науке произошли поистине революционные события, совершенно перевернувшие представления ученых о самой природе крохотных частиц материи. Очень было трудно исследователям Природы примириться, например, с мыслью, что свет, которому до тех пор приписывали только волновые свойства, состоит одновременно еще и из... частиц, а электрон (к нему едва-едва привыкли, как к мельчайшей частице!) может на глазах исследователей неожиданно, как в сказке, превращаться в волну, в колебание.

Трудно описать горб верблюда

Произошли эти события на фоне сравнительно безмятежного и спокойного хода исследований во всех областях физики в конце XIX века. Этот век принес в науку так много открытий, что подавляющее большинство ученых считало основные законы Природы окончательно установленными, а сущность большинства физических

явлений — ясной и понятной. Один из студентов, решивших посвятить себя в будущем теоретической физике, хорошо запомнил удивление своего профессора: «Зачем? Ведь теоретическая физика в основном уже закончена». Этим студентом был Макс Планк.

Да и затруднения, с которых все началось, нельзя было отнести к числу важнейших физических проблем. Ученые пытались найти формулу, которая точно и в полном согласии с экспериментом описывала бы спектр излучения черного тела. И это у них никак не получалось. Экспериментаторы давно установили, что спектр черного тела напоминает остроконечный холм или горб верблюда. Вершина горба, где излучение максимально, находится при определенной длине волны, значение которой зависит от температуры, причем влево — в направлении коротких длин волн и вправо — в длинноволновую сторону интенсивность излучения резко убывает.

Немецкий физик Вильгельм Вин сумел доказать, что при умножении длины волны в максимуме излучения черного тела на его температуру, выраженную в кельвинах, всегда получается одна и та же постоянная величина. Теперь ученые могли легко определить ту длину волны, на которую при заданной температуре тела приходится наибольшая энергия излучения. Например, максимум излучения нашего тела при температуре $36,6^{\circ}\text{C}$ (по оптическим свойствам кожа, как ни странно, очень похожа на черное тело в инфракрасной области спектра!) лежит при 10 микронах. Отверстие печки, раскаленной внутри до 1200°C , активнее всего испускает невидимое излучение с длиной около двух микрон. Ослепительная дуга, зажженная между двумя угольными электродами, посылает во все стороны лучи, по спектральному составу подобные солнечному излучению, причем самые энергичные из них с длиной волны $0,5\text{--}0,6$ микрона.

Если холодную печку разогревать постепенно, то интенсивность излучения из ее отверстия начнет увеличиваться, и в спектре излучения будет появляться все больше видимых лучей: сначала темно-красных, затем желтых, а потом свечение становится ослепительно белым.

Продолжать сравнение с холмом или горбом верблюда здесь уже трудно — ведь описанные нами тепловые явления приводят к выводу, что горб разгоряченного верблюда должен быть значительно больше, чем у верблюда отдыхающего, и к тому же обязан заметно переместиться по направлению к его голове. Этого, как мы знаем, в природе не бывает.

Но спектр излучения черных тел, как доказали многочисленные опыты, изменяется по мере нагревания. И наблюдения экспериментаторов подтверждались выводами теоретиков, пока не начались попытки математически определить форму всей кривой излучения черного тела при различных температурах, а не только значение длины волны с наибольшей энергией. Кривая, которая получалась по расчетам, не имела «горба»: если в области длинных, невидимых волн она совпадала с экспериментом, то в диапазоне коротких волн — видимых и особенно ультрафиолетовых — кривая начинала убегать вверх, стремясь в бесконечность.

«Ультрафиолетовая катастрофа»

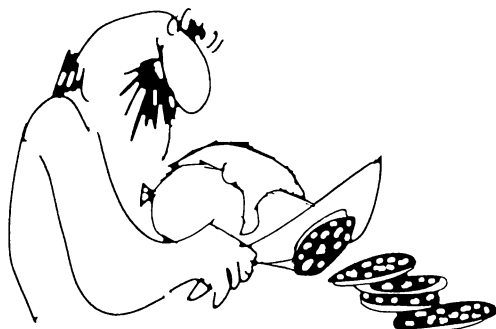
«Ультрафиолетовой катастрофой» называли исследователи расхождение теории излучения с экспериментом. Расхождение, которое никак не удавалось устранить. А ведь среди ученых, бившихся над разрешением данной проблемы, были очень известные физики — лорд Рэлей, Вильгельм Вин, Джеймс Джинс, московский профессор В. А. Михельсон. И основывались они на многократно проверенном положении классической физики, которое гласит: в любом направлении всякий излучатель, находящийся в тепловом равновесии с окружающей средой, непрерывно испускает одинаковое количество энергии. Этим положением с успехом пользовались в своих работах Максвелл и Больцман, авторитет которых в науке заслуженно велик. Ведь недаром в наши дни известнейший физик-теоретик Ричард Фейнман отметит в своих лекциях: «В истории человечества (если посмотреть на нее, скажем, через десять тысяч лет) самым значительным событием XIX столетия, несомненно, будет открытие Максвеллом законов электродинамики. На фоне этого важного научного открытия гражданская война в Америке в том же десятилетии будет выглядеть мелким провинциальным происшествием».

Для физиков конца XIX века не существовало сомнений в правильности классических положений. Но... логичные и обоснованные математические расчеты неизменно приводили к формулам, выводы из которых совершенно расходились с экспериментом. Из этих формул следовало, что раскаленная печь должна с течением времени отдавать все больше тепла в окружающее пространство, а яркость ее свечения должна все больше возрастать!

Современник «ультрафиолетовой катастрофы», физик Хендрик Лоренц грустно заметил: «Уравнения классической физики оказались неспособными объяснить, почему угасающая печь не испускает желтых лучей наряду с излучением больших длин волн...»

«Нечто новое, дотоле неслыханное»

Формулу, совершенно точно описывающую спектр излучения черного тела, удалось вывести Максиму Планку, ставшему вскоре главой школы немецких физиков, ректором Берлинского университета. Да, тому самому Максиму Планку, которого так отговаривали заниматься теоретической физикой. Планк долгое время колебался, на чем остановить свой выбор — на гуманитарных занятиях или физике. Влечение к физике оказалось сильнее, но увлечения молодости не пропали зря: все теоретические работы Планка, книги и статьи отличаются редким изяществом и красотой слога. «При изучении его трудов, — сказал Альберт Эйнштейн, — вообще создается впечатление, что требование художественности является одной из главных пружин его творчества. Ведь недаром рассказывают, что Планк после окончания гимназии сомневался, посвятить ли себя изучению математики и физики или музыки».



Планк сделал необычное предположение: излучение черного тела передается окружающему пространству не непрерывно, а в виде отдельных мелких порций, которые он назвал квантами, или фотонами, мельчайшими порциями излучения. По сути, Планк изменил одно, не очень существенное звено в цепи рассуждений. Но оно оказалось решающим — математические расчеты стали совершенно другими и привели к формуле, которая описывала спектр излучения черного тела в прекрасном согласии с экспериментом.

Формула, выведенная Планком, позволила определить форму спектральной кривой излучения. В этом спектре при обычных «земных» температурах было ничтожно мало ультрафиолетовых лучей. Спектр излучения тела, наконец, и в теории стал похож на горб верблюда.

Расчетный спектр излучения, как и на практике, начинал с ростом температуры сдвигаться в сторону коротких волн, и при температуре выше 500°C в нем появлялись видимые лучи. Из формулы Планка в виде частных случаев могли быть получены и закон Вина, и соотношение Стефана-Больцмана, показывающее, что общая энергия излучения тела пропорциональна его абсолютной температуре в четвертой степени.

Физики облегченно вздохнули: «ультрафиолетовая катастрофа» закончилась вполне благополучно. Но создатель новой формулы не был удовлетворен достигнутым.

Вот как описывал Планк сомнения, мучившие его: «...или квант действия был фиктивной величиной — тогда весь вывод закона излучения был принципиально иллюзорным и представлял собой просто лишенную содержания игру в формулы, или при выводе этого закона в основу была положена правильная физическая мысль — тогда квант действия должен был играть в физике фундаментальную роль, тогда появление его возмещало нечто совершенно новое, дотоле неслыханное, что, казалось, требовало преобразования самых основ нашего физического мышления...»

После как будто бы окончательной победы волновой теории света физикам было необычайно трудно возвращаться к представлениям об излучении как о потоке частиц, вспоминать о корpusкулах Ньютона. Эти затруднения, возможно, возрастали из-за обман-

чивости наших чисто эмоциональных ощущений: всегда кажется, что солнечное излучение заливает все вокруг непрерывным потоком, волнами света.

В поэзии — от Гомера и до наших дней — ощущениям, рождаемым светом, всегда отводилось особое место. Наиболее часто поэты воспринимали свет как особую, светоносную, сияющую жидкость. Федор Иванович Тютчев, например, писал:

Снова жадными очами
Свет живительный я пью.

Неужели эта удивительная жидкость так же многолика, как вода? Водой наполнены безграничные моря, огромные озера, быстротекущие реки. Сравнение с речными и морскими волнами всегда помогало создателям волновой теории распространения света и звука. Но ведь та же самая вода часто предстает перед нами в виде дождя, мелкой дробью барабанищего по крыше! Крупинки льда, снежинки, крупные горошины града — все это тоже вода. Почему бы не существовать и «крупинкам» света?

Всевидающий глаз

Один из выдающихся оптиков XX века — академик Сергей Иванович Вавилов долго не мог привыкнуть к представлению о свете, состоящем из квантов, а затем... придумал способ наблюдать кванты невооруженным глазом и стал горячим сторонником квантовой теории.

В выводах Планка есть указание на то, как определить энергию одного кванта, или фотона: необходимо частоту света умножить на постоянный множитель, вскоре получивший название постоянной Планка, равный: $6,62 \times 10^{-34}$ Дж·с.

Сергей Иванович рассчитал, что самая маленькая освещенность, которую способен различить человеческий глаз, создается 52 квантами зеленого света. Но если свет — поток квантов, то, в силу сложности механизма рождения и исчезновения квантов в атомах и молекулах, неизбежны флуктуации (отклонения от средних значений в обе стороны) числа квантов в световом потоке. Это означает, что, в отличие от световых волн, они должны излучаться источником света не равномерно и непрерывно, а порциями различной величины: в одно мгновение раскаленная вольфрамовая нить лампочки может «выбросить» 100 квантов, в следующее — 10 квантов, в третье — 40 квантов и так далее. Человеческий глаз суммирует действие всех квантов, приходящих к нему за одну десятую долю секунды, поэтому при ярком свете, когда в течение этого времени к нашему глазу поступает в среднем более 52 квантов, мы воспринимаем свет от источников как непрерывный.

Чтобы убедиться в существовании квантов, необходимо внимательно смотреть на источник очень слабого света, излучение кото-



рого равномерно прерывается. Вавилов установил между наблюдателями и лампочкой вращающийся черный диск с прорезью. Пока лампочка горела ярко, через прорезь всегда проходил свет. Как только через нить накала лампочки стали пропускать меньший ток и ее свечение упало, Вавилов и его сотрудники увидели, что через отверстие в диске свет проходит далеко не при каждом обороте. «Глаз, таким образом, — писал С. И. Вавилов в своей книге «Глаз и Солнце», — действительно «воочию» позволяет убедиться в квантовой, прерывной структуре света».

Будущий друг и коллега Планка, молодой Альберт Эйнштейн, вероятно, раньше, чем кто-либо другой, разглядел в квантовой гипотезе общий закон многих процессов, происходящих в природе. В статье, опубликованной в 1905 году, Эйнштейн показывает, что к гипотезе квантов можно прийти, сравнивая излучение и идеальный газ. Законы, управляющие поведением среды в том и другом случае, оказываются настолько похожими, что логичный вывод: излучение, так же как и газ, состоит из мельчайших частичек — кажется неизбежным.

Эйнштейн пришел к убеждению, что не только свет, но и любое другое электромагнитное излучение можно рассматривать как поток квантов. Лишь энергия отдельного кванта в каждом конкретном проявлении изменяется.

Наиболее интересно с психологической точки зрения, что Эйнштейн в своих смелых и решительных взглядах на природу света долгое время не находил союзника в лице... самого Планка. Сомнения Планка в реальном существовании квантов продолжались так долго, что даже в 1912 году, рекомендуя Эйнштейна в действительные члены Прусской академии наук, группа ученых во главе с Планком писала: «То, что в своих рассуждениях он иногда выходит за пределы цели, как, например, в своей гипотезе световых квантов, не следует слишком сильно ставить ему в упрек. Ибо, не решившись идти на риск, нельзя осуществить истинно нового, даже в самом точном естествознании».

Сомнениям был окончательно положен конец только после того, как квантовая гипотеза прекрасно объяснила два удивительных явления, обнаруженных экспериментально: фотоэффект (так называется явление испускания электронов с поверхности вещества под действием электромагнитного излучения, используемое в фото-

элементах — устройствах, преобразующих световую энергию в электрическую) и вынужденное излучение (явление, лежащее в основе работы лазеров).

С ультрафиолетом могут быть связаны не только катастрофы

Когда немецкий физик Генрих Герц и русский профессор А. Г. Столетов исследовали закономерности внешнего фотоэффекта, то один, очевидный для обоих исследователей факт так и не получил объяснения в их работах: почему именно ультрафиолетовый свет ртутной лампы вызывает появление тока в пустом промежутке между двумя металлическими пластинами, соединенными с электрической батареей? Было совершенно ясно, что как ни увеличивай мощность, например, красного света, он не приводит к фотоэффекту — ток между пластинами не возникает. С подобными же непонятными свойствами столкнулись и ученые, изучавшие явление внутреннего фотоэффекта. В этом случае электрический ток рождался под влиянием света внутри пластинки или пленки твердого вещества, например селена, сернистого таллия, закиси меди или окислов серебра.

Для каждого из этих материалов можно было точно установить характерную длину волны света, получившую название красной границы фотоэффекта. Свет более коротких волн вызывал появление тока внутри вещества. Воздействие более длинноволнового излучения было, как говорят ученые, «нефотоактивным» — освещение таким светом приводило лишь к нагреву пленок или пластинок без какого-либо фотоэлектрического эффекта.

И только после создания совершенно иных, качественно новых начал теории излучения и возникновения квантовых представлений удалось понять, что же происходит в процессе фотоэффекта. Для появления в веществе или в пустом пространстве между двумя электродами носителя тока — свободного электрона — ему необходимо передать строго определенное количество энергии. Это может сделать лишь квант излучения достаточно большой величины.

В одной из своих ранних работ (впоследствии удостоенных Нобелевской премии) Альберт Эйнштейн показал, что энергия кванта излучения должна быть потрачена на преодоление работы выхода электрона из вещества (в случае внешнего фотоэффекта) и на сообщение ему необходимой кинетической энергии.

Чтобы «вырвать» электрон из вещества нужны кванты достаточной энергии. Ультрафиолетовым квантам, как более энергичным, это удастся легче всего.

Укрошение света

Здесь полезно привести несколько цифр: кванты ультрафиолетового света имеют энергию от 3,1 до 6,2 электрон-вольт (сокращен-

но — эВ), видимого — от 1,6 до 3,1 эВ, ближнего инфракрасного — от 0,5 до 1,6 эВ, среднего и дальнего инфракрасного — от 0,02 до 0,5 эВ. Один электрон-вольт — это энергия, которую электрон приобретает, разгоняясь разностью потенциалов в один вольт.

Для внутреннего фотоэффекта подходят кванты сравнительно небольших энергий — ведь электрон остается внутри вещества, ему не нужно преодолевать энергетический барьер перед «вылетом» за пределы твердого тела. Энергия фотоактивного кванта в этом случае определяется строением электронных оболочек атомов данного вещества. У металлов электроны легко отрываются от родных атомов (для этого достаточно комнатной температуры), у диэлектриков — необыкновенно трудно, здесь даже ультрафиолет часто оказывается бесполезным.

Ученые обнаружили в Природе вещества, поведение которых зависит от внешних условий. В них при обычной температуре и в темноте почти нет свободных электронов, но освещение видимым или же инфракрасным светом совершает чудо — в этих веществах появляется множество носителей электрического заряда. Эти вещества получили название полупроводников. Например, для такого полупроводника, как германий, фотоактивным является излучение с длиной волны меньше 1,8 микрона, для полупроводникового кремния — с длиной волны 1,1 микрона и менее (ведь с уменьшением длины волны энергия кванта растет). Из подобных полупроводниковых веществ уже в наши дни удалось сделать прекрасные фотоэлементы. Им не нужна для работы батарейка.

Электрон, отрываясь от атома, оставляет его положительно заряженным. Положительный заряд за счет перескоков электронов тоже начинает путешествовать по полупроводниковой пленке или пластинке. Отрицательные и положительные заряды необходимо лишь «развести» к противоположным металлическим электродам — и фотоэлемент, световой генератор тока, готов. Заряды легче всего разделить с помощью «встроенного» электрического поля, возникающего на границе двух пленок или слоев с разной проводимостью. Граница двух слоев играет роль

слагбаума-регулирующего, пропускающая, например, в верхний слой фотоэлемента только отрицательные заряды и задерживая положительные, заставляя их накапливаться в нижнем слое.

На двухслойную пластинку или пленку падает излучение, и в цепи появляется рожденный светом электрический ток! Мы привыкли сейчас к фотоэлементам. В электронном автомате, пропускающем



нас в метро, роль неусыпного и бдительного стража играет луч света, падающий на фотоэлемент. Страстные футбольные болельщики видят на экране телевизора матч, происходящий на другом конце земного шара, благодаря спутнику-ретранслятору, аппаратура которого снабжается солнечной электроэнергией от сотен тысяч фотоэлементов, установленных на «крыльях» или корпусе спутника. Сведения о погоде в полярных и высокогорных областях Земли ученые получают от автоматических метеостанций, доставленных туда вертолетом. На каждой метеостанции — небольшая солнечная батарея, генератор электроэнергии. Качается на волнах бакен, запасаящий в своем аккумуляторе энергию света, превращенную с помощью фотоэлементов в электрический ток. Горит всю ночь солнечный светлячок бакена, помогая морякам не сбиться с пути...

Недалеко то время, когда значительную часть электроэнергии для работы промышленности, средств связи и транспорта человечество будет получать от Солнца — с помощью огромных полупроводниковых солнечных батарей, расположенных в пустынях, в горах, на плавающих платформах в океанах и морях. И станет это возможным благодаря тому, что физики сумели многое понять в явлении фотоэффекта, отыскав в теории квантов путеводное начало к объяснению происходящих при этом процессов... Как сказал однажды Эйнштейн в статье, посвященной памяти Исаака Ньютона: «...творения интеллекта переживают шумную суету поколений и на протяжении веков озаряют мир светом и теплом». И озаряют, добавим мы, часто не только в переносном, но и в самом прямом смысле слова.

Из лазера на Луну

Сообщение об одном из совместных французско-российских космических экспериментов, проведенном в начале 80-х годов прошлого столетия, вызвало у читателей газет чувство восхищения и множество вопросов. На российском космическом аппарате, опустившемся на Луну, было установлено зеркало особой формы и конструкции, изготовленное во Франции. Лазер должен был послать с Земли луч света, который, отразившись от зеркала и вернувшись на Землю, позволил бы ученым с большой точностью измерить рас-



стояние до Луны. Судя по снимкам, французское зеркало-отражатель было очень скромных размеров: не больше полуметра в диаметре. Что же это за чудодейственный прибор — лазер, обладающий такой снайперской точностью?

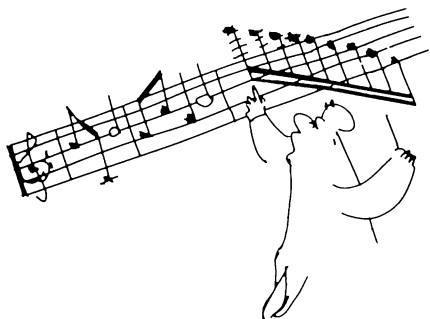
Слово «лазер» образовано из начальных букв длинной английской фразы, означающей в дословном переводе: «усиление света с помощью вынужденного излучения».

Ученые давно обращали внимание на явление самопроизвольного испускания света атомами, когда возбужденный каким-либо способом электрон вновь возвращается с высокоэнергетических уровней на низкоэнергетические. Недаром явление люминесценции, вызванное такими переходами, издавна привлекало исследователей своей красотой и необычностью. Но свет люминесценции слишком слаб и рассеян. Луны ему не достичь... Атомы при люминесценции испускают свой свет в разные моменты времени, не согласованно между собой — у атомов нет одного «дирижера»! В результате возникает хаотичное вспышечное излучение.

В 1917 г. Альберт Эйнштейн в одной из статей теоретически показал, что согласовать вспышки от отдельных атомов между собой позволило бы внешнее электромагнитное излучение. Оно может заставить электроны разных атомов одновременно «взлететь» на одинаково высокие энергетические уровни. Этому же излучению нетрудно сыграть роль и спускового крючка при «световом выстреле»: направленное на кристалл, оно может вызвать одновременное возвращение на исходные орбиты сразу нескольких десятков тысяч возбужденных электронов, что будет сопровождаться мощной ослепительно яркой вспышкой света. Такой свет физики называют *монокроматическим*, т.е. состоящим из волн практически одной длины. Работа Эйнштейна была почти забыта физиками: исследования по изучению строения атома занимали тогда всех значительно больше.

В 1939 г. молодой российский ученый, ставший впоследствии профессором, действительным членом Академии педагогических наук, Валентин Александрович Фабрикант вернулся к эйнштейновскому понятию вынужденного излучения. Исследования Фабриканта заложили прочный фундамент для создания лазера. Еще несколько лет интенсивных исследований в спокойной мирной обстановке — и лазер был бы создан в начале сороковых.

Для получения мощного источника монокроматического света необходимо, чтобы на высокоэнергетических уровнях электронов было больше, чем на низкоэнергетических. В Природе все бывает наоборот — ведь состояния, обладающие меньшей потенциальной энергией, более устой-



чивы. Это свойство доказал еще в XIX веке замечательный австрийский физик Людвиг Больцман. По выведенному им математическому закону распределения, на высоких энергетических уровнях частиц всегда должно быть меньше, чем на низких.

А если придумать что-нибудь очень хитроумное? Например, подобрать молекулу или атом с двумя возбужденными (высокоэнергетическими) уровнями и одним низким, с которого будут «вычерпываться» электроны? Тогда, применив сильное возбуждение — интенсивный свет, мощное электрическое поле, поток заряженных частиц, можно электроны из нижнего положения заставить перепрыгнуть на самый верхний уровень — своего рода перевалочный пункт. Обычно электроны не способны продолжительное время находиться в возбужденном состоянии, они быстро переходят на прежнее место. Но здесь, в трехуровневой системе, возвращающимся электронам подготовлена близкая площадка для мягкого «приземления» — второй возбужденный уровень, на котором электроны могут пребывать достаточно долго (по атомным масштабам). Во всяком случае, время их жизни на нижнем возбужденном уровне может в десятки тысяч раз превышать время жизни в самом верхнем положении.

Таким оригинальным способом удастся создать так называемую «инверсию населенностей», когда на верхних уровнях (вопреки законам Природы, справедливым для условий теплового равновесия) будет больше электронов, чем на нижних. Остается, кажется, лишь немного — включить вынуждающее излучение, которое заставит электроны по команде спуститься вниз — и новый, ослепительно яркий источник света получен!

Пушка, стреляющая... светом

Описанные физические идеи позволили российским академикам Н. Г. Басову, А. М. Прохорову и американскому физiku Ч. Таунсу в 1954 г. разработать (используя возбужденные молекулы аммиака) так называемый мазер — мощный излучатель радиоволн. Эта выдающаяся научная работа была заслуженно отмечена Нобелевской премией по физике.

А что, если подобным же образом, изменив состав газа, создать лазер — источник оптического излучения? Для этого различие между спокойным и возбужденным состоянием газовых молекул по количеству запасенной энергии должно быть в точности равно энергии квантов видимого и невидимого света. Чтобы лазер излучал непрерывно, а не короткими, хотя и сильными вспышками, необходимо все время перебрасывать электроны с нижнего уровня на верхний. Ученые долго не могли придумать, как это сделать.

Опытные доказательства существования квантовых переходов внутри атома, как и разгадка фотоэлектрического эффекта, позволили всем скептикам, в том числе и самому Планку, удостовериться в реальном существовании частиц излучения, наличие которых в составе

света ему пришлось с трудом допустить в своих теоретических расчетах. Вывод закона излучения не был простой игрой в формулы.

Макс Планк написал в своих биографических заметках, что новые идеи в науке чаще всего побеждают потому, что постепенно умирают защитники старых. Однако квантовые представления самого Планка шли в физику, к счастью, не столь грустным и длительным путем. Все вычисления, сделанные по формуле Планка, расчеты энергии квантов, или фотонов, разных длин волн с высокой степенью точности совпали с экспериментом. Например, когда квантами определенной энергии облучали атом, для которого было известно энергетическое расстояние между возбужденным и невозбужденным состоянием электрона, электрон всегда послушно перескакивал с одной орбиты на другую, заранее теоретически предсказанную.

Вероятно, именно это обстоятельство и навело ученых на мысль: лучше всех справится с задачей постоянной «переброски» возвратившихся электронов снова с нижнего уровня на верхний свет, излучаемый самим лазером. Просто не следует выпускать из лазера весь свет — небольшое его количество необходимо вернуть обратно в кристалл для повторного возбуждения электронов.

В 60-х годах XX столетия были созданы лазеры из различных материалов: из кристаллов рубина с примесью атомов хрома, из стекла с добавками редкоземельных элементов, лазеры газовые, жидкостные, полупроводниковые, химические. Внешне любой лазер устроен очень просто. Например, кристалл-стержень из рубина обычно окружен трубчатыми лампами-вспышками. Иногда лампа-вспышка изготавливается в виде спирали и надевается на длинный кристалл, напоминающая змею, обвивающую трость дрессировщика. С обоих торцов кристалла ставят два зеркала: одно сплошное, другое полупрозрачное.

В первые мгновения лазер излучает слабый свет. После многократных отражений между зеркалами начинает возбуждаться все больше атомов внутри кристалла. Процесс напоминает лавину в горах, и через доли секунды стремительный поток красного света вырывается сквозь полупрозрачное зеркало. Часть света лазера продолжает «раскачиваться» между зеркалами, поддерживая непрерывную работу «световой пушки». Такое сравнение не случайно. Лучи света, испускаемые лазером, не только обладают большой энергией и способностью легко сверлить отверстия в стали, пробивать бетонные стены и сваривать самые тугоплавкие материалы. Эти лучи строго параллельны друг другу и мало расходятся в стороны после преодоления очень больших расстояний. Именно поэтому лучи лазера были выбраны для светового выстрела по Луне.

Если на Луну послать пучок радиоволн с помощью, например, радиотелескопа, выполненного в виде зеркальной чаши диаметром 22 м (установлен в городе Пущино под Москвой), то на поверхность естественного спутника Земли попадет лишь небольшая часть сигнала. Пучок радиоволн, пробежав в космосе 300 тыс. км, расплывается

ся в пятно с поперечником в 30 тыс. км, намного превышающим размер Луны! А лазер, испускающий невидимые инфракрасные волны, «осветит» на Луне круг диаметром 2—3 км, лазерный же источник видимых лучей образует пятно еще меньшего размера. Благодаря этим экспериментам расстояние от Земли до Луны стало известно с точностью до 10 м!

Прохождению лучей с наземных установок в космос мешает воздушная атмосфера, и ученые задумали установить лазеры на спутниках Земли.

Лазер, вероятно, быстрее других замечательных изобретений XX в. нашел широкое применение в медицине. Сейчас часто можно увидеть на операции хирурга с удобным портативным лазером в руках. Луч лазера значительно чище, тоньше, ювелирнее, чем любой скальпель, сумеет разъединить ткани, удалить небольшую опухоль. Одновременно лазерный луч может оплавить и закупорить сосуд, который при обычных операциях доставляет хирургам массу хлопот, заливая кровью, как они говорят, операционное поле. Поле битвы за здоровье человека.

Лазер позволил осуществлять уникальную операцию: не разрезая глаза, прижигать, вернее, приваривать сетчатку к главному дну. Несколько уколов горячей «световой иглой» сквозь глазное яблоко — и угроза потери зрения для пациента исчезает навсегда.

Изобретены лазеры самых различных типов, конструкций и назначений. Лазеры не только участвуют в операциях, вырезая поврежденные сосуды и участки кожи. Лазерным лучом приваривают тончайшие проводки к электронным схемам. Много надежд возлагают на лазер и исследователи, занятые разработкой новых средств связи. Подсчитано, что световой сигнал лазера может «нести на себе» одновременно 200 телевизионных передач или 1000 телефонных разговоров. Чтобы такому световому общению людей не мешала перемена погоды, лазерный луч лучше пропускать по световоду из стекловолокну, проложенному под землей. Как известно, стекло, в отличие от медных проводов, совсем не боится влаги.

Лазер «с удовольствием» решает не только сложные медицинские или физические задачи, но и достаточно простые, почти бытовые — например, служит световой указкой на конференциях и семинарах в больших залах, где экран или плакаты со схемами и чертежами расположены далеко от докладчика.

Несовместимое совмещается

Сейчас можно сказать, не преувеличивая, что ученые располагают лазерами на любой вкус и цвет, излучающими почти все длины волн ультрафиолетового, видимого и инфракрасного спектра. Иногда различным лазерам приходится работать рядом. Так, для проведения сложных операций требуется хороший оптический «скальпель». Необходимой для этого мощностью излучения обладает ла-

зер, испускающий невидимые инфракрасные лучи. Следовательно, хирург не видит луча, а работать вслепую таким грозным оружием — опасно. На помощь медикам пришли физики: разработали оптическую систему, где плотную с невидимым лучом шел более слабый, но яркий и заметный красный луч рубинового лазера.

Во многих странах мира ведутся работы по созданию лазерных источников мощного рентгеновского и гамма-излучения. Такие лазеры очень нужны физикам, химикам, врачам, биологам. Обычно лазеры испускают луч одного цвета, одной длины волны. В ходе многих экспериментов с лазерами длину волны излучения необходимо изменять. И еще совсем недавно для этого приходилось применять целое семейство самостоятельных лазеров. Теперь сложные физические проблемы, при исследовании которых необходимо множество лучей с разной длиной волн, в состоянии решить химический лазер, так называемый *лазер на красителях*. В лазерной установке имеется большой набор кювет с красителями разного химического состава и самой необычной окраски. Кюветы сменяют друг друга — и получаются световые лучи любого известного цвета! Испускают свет из глубины красителя не электроны, а возбужденные молекулы во время их возвращения в обычное спокойное состояние.

Внутри установки помещается и источник невидимого ультрафиолетового излучения, приводящего молекулы красителя в возбужденное состояние. Источник излучения обычно выполняется в виде герметичной камеры с полупрозрачными стенками-отражателями, в которой происходит реакция соединения инертного газа ксенона с фтором. Большое внешнее напряжение подается на электроды, проходящие в камере, и под действием электрического разряда возникают молекулы фторида ксенона.

Возбужденные молекулы, подобные фториду ксенона, рожденные под настойчивым натиском превосходящих электрических сил, химики называют *эксимерами*. Эксимерные молекулы живут на свете очень короткое время и, быстро распадаясь, передают накопленную ими энергию окружающему пространству в виде ультрафиолетового излучения. Теперь остается только направить ультрафиолетовое излучение в кювету с красителем! Длительное время ученым не удавалось увеличить КПД световых лазеров — слишком много энергии приходилось тратить на «раскачку» атомов и молекул внутри вещества. Несмотря на высокие мощности излучения, испускаемого лазерами, подводимая к кристаллу энергия в сотни раз превышала излучаемую. А это означало, что лазер невыгодно использовать для передачи больших количеств энергии.

Наконец исследователи сумели подобрать смесь газов — диоксид углерода с примесью азота и гелия, в которой сравнительно мало энергии теряется при превращении в полезное излучение. Для «накачивания» газового лазера применяется источник высокочастотного напряжения, поскольку излучение лампы-вспышки проходило

бы сквозь прозрачный газ и подводимая энергия терялась бы впустую. Из диоксида углерода высвечивается мощное невидимое инфракрасное излучение с длиной волны 10,6 мкм. Коэффициент полезного действия такого лазера достигает уже сейчас 30—40%, причем мощность излучения составляет больше 10 кВт в одном пучке при непрерывном режиме работы.

Сразу после этого изобретения стали рождаться смелые проекты передачи энергии с космических солнечных электростанций на Землю с помощью невидимого лазерного излучения. Энергетически выгодно использовать такие лазеры и для нагрева плазмы в термоядерном реакторе до нескольких миллионов градусов. Достижения ядерной физики и квантовой электроники, несомненно, позволят человеку в ближайшем будущем начать использование энергии термоядерного синтеза.

Значительно меньшие мощности излучения удастся получить в полупроводниковых лазерах, например из таких материалов, как фосфид и арсенид галлия. Но зато это лазеры-малютки: их габариты едва превышают размеры светлячков в лесу. Полупроводниковые лазеры, как и газовые, начинают работать при пропускании через кристалл электрического тока, что, конечно, очень удобно. Мы ведь привыкли к тому, что свет в комнате вспыхивает после поворота электрического выключателя!

Физикам из Санкт-Петербурга удалось создать полупроводниковые лазеры, возбуждаемые коротковолновым светом. В тонкой пластинке тройного полупроводникового соединения, состоящего из алюминия, мышьяка и галлия, за счет ступенчатого распределения алюминия (в середине его концентрация меньше, у обеих граней — больше) можно создать энергетическую трехуровневую схему. Правильнее такие полупроводниковые лазеры было бы назвать переизлучающими структурами: падающее на них излучение одного цвета превращается в свет совсем другой окраски. Процесс происходит почти без потерь — эффективность переизлучения достигает 96—98%!

Лазер — поистине дитя наукоемких, высоких технологий: за каждой деталью конструкции и операцией изготовления этого прибора, за историей его использования стоят удивительные научные открытия.

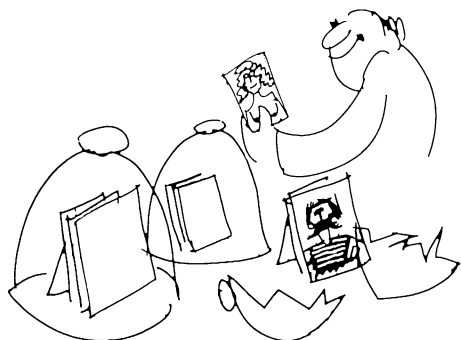
Новые свойства электрона

В 1925 году Альберт Эйнштейн рекомендовал своему коллеге Макс-у Борну познакомиться с докторской диссертацией французского физика Луи де Бройля такими странными словами: «Прочтите ее! Хотя и кажется, что ее писал сумасшедший, написана она солидно». Эйнштейну было свойственно тонкое чувство юмора и насмешливое отношение к общепринятым вкусам и привычкам. Но в словах Эйнштейна, обращенных к Борну, за шуткой скрывалась серьезная взволнованная мысль. Еще бы — из работ де Бройля следовало, что

электрон, к которому все уже привыкли относиться как к частице, обладает одновременно явно выраженными волновыми свойствами!

Де Бройль пришел к своим выводам чисто теоретически. Если уравнения движения электрона по орбите вокруг атома, полученные с использованием соотношения теории относительности, связывающего массу и энергию, записать в форме, которой пользуются оптики для описания волновых процессов, то оказывается, что электрон обладает длиной волны, а устойчивыми орбитами являются как раз те, на которых укладывается целое число длин волн электрона.

Вполне возможно, что «сумасшедшей» теории де Бройля пришлось бы ждать признания много лет, если бы физики-экспериментаторы Дэвиссон и Джермер не вспомнили о ней в трудную минуту размышлений над непонятными результатами очередного опыта...



Открытие было сделано, как это часто бывает, почти случайно. Дэвиссон и Джермер изучали отражение электронов от поверхности никелевых пластинок. Пластины тщательно очищали от окислов и между экспериментами хранили в герметично закрытых сосудах, лишенных кислорода. Однажды один из сосудов разбился.

Пластинку решили прокалить, чтобы избавиться от быстро выросшей на воздухе пленки окисла. На поверхности металла образовались крохотные кристаллики никеля.

Экспериментаторы продолжали опыты, но прокаленная пластинка никеля стала вести себя необычным образом. Если от остальных пластин электроны отражались зеркально, как и положено потоку частиц, то от прокаленной пластинки электроны рассеивались в разные стороны, причем в одних направлениях их поток значительно усиливался, а в других — заметно ослабевал. Потоки электронов вели себя, как лучи света в экспериментах английского и французского оптиков Томаса Юнга и Огюстена Френеля, детально изучивших в начале XIX века явления взаимодействия оптических лучей при дифракции и интерференции.

Объяснить опыты с необычным — оптическим! — поведением электронов удалось только благодаря теории де Бройля. Размеры мелких кристалликов никеля оказались соизмеримыми с длиной волны электронов, вычисленной де Бройлем. Электроны «обходили» кристаллики так же, как световые волны огибают мелкие непрозрачные препятствия в опытах по дифракции...

Первый успех окрылил сторонников теории де Бройля. Может быть, электронные волны позволят еще подробнее, чем рентгеновские лучи, заглянуть вглубь вещества? Если для рентгеновских лучей атомы кристалла служат дифракционной решеткой и с их помощью

можно измерить расстояния между атомами, то для электронов окажутся доступными и более мелкие детали строения микромира. Например, удастся разглядеть наконец доселе невидимый атом во всех подробностях...

Один в двух лицах

Конечно, замечательные опыты англичанина Джозефа Томсона по определению в магнитном поле отношения заряда электрона к его массе и американца Роберта Миллиkena по прямому измерению заряда электрона, убедившие всех, что электрон — это частица, были выполнены достаточно тщательно и надежно, и физики нисколько не сомневались в их достоверности. Эти опыты, к тому же, как все истинные и точные эксперименты в науке, можно воспроизвести и проверить в любой лаборатории мира.

Милликен потратил на свои опыты три года: с 1909 по 1912 год. Он пользовался очень простой аппаратурой. Две круглые латунные пластины диаметром около 25 сантиметров устанавливались на расстоянии 15 миллиметров друг от друга. В верхней пластине было просверлено несколько мелких круглых отверстий, через которые в воздушный промежуток между пластинами впрыскивали с помощью распылителя капли смазочного масла. Капли медленно оседали в пространстве между пластинами, и измеряя скорость падения каждой капли, можно было определить ее массу. Затем к пластинам подводилось высокое напряжение в 10 киловольт. При этом скорость падения капель изменялась, если они имели электрический заряд. Вот и все!

С помощью рентгеновских лучей Милликен ионизировал молекулы воздуха. Электроны, оставив после себя заряженные положительно ионы, прочно «усаживались» на каплях масла. По скорости опускания капель можно было вычислить величину находящихся на них зарядов. Заряды на каплях были разными, но обязательно оказывались кратными одной и той же величине — заряду электрона.

Иногда Милликен так увлекался своими наблюдениями за



поведением заряженных капелек масла, что забывал пообедать или выйти к заранее приглашенным гостям. Жена Милликена однажды объяснила гостям, что ее муж не может прийти к обеду, пока не закончит стирать и гладить. Гости, конечно, были очень растроганы любовью ученого к домашним занятиям... Через несколько часов все выяснилось. Милликен, позвонив из лаборатории, коротко сказал жене: «Я наблюдал за ионом», что звучит по-английски очень похоже на фразу: «Я стирал и гладил».

И теперь физикам пришлось признать, что частица, имеющая массу и заряд, ведет себя как волна. Не означало ли это, в частности, что можно создать и электронный микроскоп? По образу и подобию оптических и рентгеновских микроскопов. Оказалось, что можно. Роль оптических линз в электронном микроскопе выполняют несколько мощных магнитов, объединенных в устройство, получившее название магнитной линзы. Магнитные линзы фокусируют потоки электронов, вылетающих в высоком вакууме с поверхности катода — раскаленной вольфрамовой проволоки и ускоренных электрическим полем между анодом и катодом. Эти же линзы способны по желанию экспериментатора «распустить» электроны веером, направить их на тонкие полупрозрачные пленки металлов, на кристаллические пластинки или кусочки замороженных биологических тканей, а могут и собрать электроны, отраженные от поверхности образцов, снова вместе. Отчетливо видны в современном электронном микроскопе зерна (или поры) в тончайших металлических пленках диаметром всего 10—20 ангстрем.

Электронный микроскоп обладает в десятки и сотни раз большей «зоркостью зрения», чем устройства, использующие рентгеновские и оптические лучи; возможности ученых исследовать структуру мельчайших объектов значительно возросли.

Физики создали так называемые сканирующие, или растровые, электронные микроскопы: электронный луч быстро и в разных направлениях пробегает по образцу, позволяя получить на светящемся экране или на фотографии объемное изображение мельчайших деталей изучаемой поверхности. Царапина шириной всего в один микрон на поверхности полупроводниковой пластины выглядит на этих фотографиях глубоким оврагом!

Вероятно, только после создания таких научных инструментов, как электронный микроскоп, исследователи окончательно поверили, что электрон похож на двуликого бога Януса: в одних случаях он ведет себя как частица, а в других — как волна. Физики теперь описывают электрон несколькими характеристиками. Например: «Мы пользовались пучком электронов с энергией 600 электрон-вольт (длина волны 0,05 нанометров)».

Многое изменили в наших представлениях о Природе великие физические открытия. Сначала у световой волны были обнаружены качества, характерные для частиц, затем у электрона найдены волновые свойства. И самое удивительное, что по мере нашего проникновения в тайны окружающего мира все время будут выдвигаться новые пред-

ставления, новые теории и гипотезы. Возможно, исследователям Природы полезно утешать себя при этом замечательными словами Лессинга: «Стремление к истине ценнее, дороже уверенного обладания ею».

Живые картины

...Представьте себе, что вы подносите к окну золотистую полупрозрачную стеклянную пластинку и внимательно ее разглядываете. «За» пластинкой отчетливо видно объемное изображение древнеримской скульптуры. Слегка поворачивая пластины, можно даже заглянуть за висящие в воздухе изображения — из-за спины богини появляются ниспадающие складки туники. Удивительные пластинки! Будто окна в таинственную страну искусства.

Объемные снимки, так незаметно спрятанные в полупрозрачной фотоэмульсии стеклянных пластинок, получены методом голографии. Этот научный термин означает «полная запись», ведь слова «холос» и «графо» переводятся с древнегреческого как «полный» и «пишу».

Идея голографии впервые пришла к ее изобретателю Деннису Габору, венгерскому ученому, работавшему в Англии, в один из прекрасных весенних дней 1947 года. Голография постепенно захватывала воображение все большего числа исследователей и выросла в большое самостоятельное направление науки. В 1971 году за создание метода голографии Д. Габору была присуждена Нобелевская премия по физике. В конце своей речи при вручении Нобелевской премии он сказал: «Я... являюсь одним из немногих физиков, которым посчастливилось увидеть, как их идеи и замыслы выросли в новый большой раздел физики. Я отдаю себе полный отчет в том, что это достижение армии молодых, талантливых исследователей-энтузиастов...»

В 1947 году Д. Габор упорно размышлял над возможностью разглядеть атомы с помощью электронного микроскопа. Почему это никак не получается? Ведь электронный микроскоп уже в то время давал в 100 раз большее увеличение, чем оптический. Длина волны очень быстрых электронов составляет 0,05 ангстрема. Обычно микроскоп позволяет увидеть мельчайшие детали, размеры которых соизмеримы с длиной волны падающего света. Самый маленький атом — атом водорода, у которого на орбите вокруг ядра вращается всего один электрон, представляет собой сферу диаметром около одного ангстрема. Значит, даже излучение с длиной волны 0,5—0,6 ангстрема при хорошей системе фокусировки должно было бы позволить исследователям различить отдельные атомы: но этого почему-то не происходит.

Одна из причин очевидна — магнитные линзы для фокусировки электронного луча были все еще недостаточно совершенны и по сравнению с прекрасными оптическими объективами, напоминавшими по качеству огранки драгоценные камни, скорее походили, как писал Д. Габор, на «дождевые капли». На практике в электронном микроскопе в то время удавалось разглядеть лишь объекты размером

не менее 12 ангстрем, а с усовершенствованием аппаратуры до 4 ангстрем. Но это все равно в несколько раз больше размеров атома водорода.

Может быть, осуществить «фотографирование» атома в две стадии: сначала получить снимок на электронном микроскопе, а затем увеличить его, удалив по пути погрешности электронной оптики с помощью уже обычной оптической системы? И здесь Д. Габор подумал, что и обычная оптическая фотография «не без греха» — ведь на фотопластинке или на пленке мы видим чередование темных и светлых пятен, отражающих лишь одно свойство упавшего на них света — интенсивность. Там, где свет был ярким, пленка почернела (много бромистого серебра разложилось на серебро и бром), в местах, где свет был рассеянным и слабым, фотопленка почти не изменилась. Но ведь у световых волн (как, впрочем, и у всех других) есть много характеристик: форма волны, длина волны, высота пиков и впадин. Очень важно, в какой момент — на вершине пика, при прохождении впадины или в начале подъема — волна встретилась с освещенным предметом или фотопленкой.

Физики измеряют нарастание и опускание фронта волны в градусах, а о том моменте встречи с препятствием, о котором мы только что пространно рассуждали, говорят коротко: надо знать фазу волны. Фаза волны меняется при отражении от разных точек любого фотографируемого объекта — будь то человек или куст сирени. На фотопленку попадают разнообразные прямые или отраженные волны в самые разные моменты времени их жизни, или — скажем, используя научный термин, — волны с разной фазой.

Д. Габор пришел к убедительному выводу: если бы фотографии могли воспроизвести не только интенсивность отраженного света, но и фазы отраженных волн, то изображение, наконец, стало бы совершенно точной копией оригинала.

Вполне возможно, что сведения о фазе волны отраженного света каким-то образом «зашифрованы» и в обычной фотографии, и надо только изобрести способ извлечь из них эту информацию. Хотя, конечно, при освещении белым солнечным светом на фотопленку попадают в разные моменты времени настолько разнообразные лучи, что разобраться в этом «хаосе» вряд ли смог бы самый умный робот будущего.

Лучше последовать примеру Юнга и Френеля — осветить предмет когерентным светом одинаковой длины волны из одного или двух источников. После отражения от предмета на фотографию будут попадать различные лучи, и все изменения в их характеристиках, в том числе в фазах и интенсивностях, будут связаны со свойствами предмета. Полученный таким образом снимок необходимо при рассмотрении осветить тем же самым когерентным светом, который использовался при фотографировании. Тогда изображение предмета можно будет восстановить с невиданной доселе полнотой и объемностью!

Позднее, но справедливое признание

Насколько, оказывается, больше пользы может принести один когерентный луч, чем множество случайных лучей, хаотично и беспорядочно летящих из лампочки или от нашего ласкового Солнца! Как здесь не вспомнить слова американского поэта-отшельника Генри Торо, который полжизни провел в уединении лесов и полей: «Помоему, лучше одному сидеть на тыкве, чем тесниться с другими на бархатной подушке...»

Д. Габор понимал, что его идея может привести к перевороту если не в электронной технике, то в фотографии. Но в те годы в распоряжении ученых, к сожалению, было очень мало источников когерентного света. Габор со своими сотрудниками выбрал для опытов наиболее мощный из них: ртутную лампу высокого давления.

Из излучения лампы с помощью черного экрана с очень маленьким отверстием (диаметром всего 3 микрона) был «вырезан» пучок света, про который можно было с некоторой осторожностью сказать, что у всех лучей, его составляющих, форма световой волны почти одинаковая. Д. Габор сфотографировал фамилии классиков оптики: Гюйгенса, Юнга, Френеля, написанные на пластинке диаметром около 1 мм. Пластинка находилась в 1 см от черного экрана. Время засветки, правда, составляло несколько часов — свет все же был слабым. На проявленные затем фотопластинки, на которых ничего, кроме хаотично расположенных светлых и темных пятен, разобрать было нельзя, вновь направили пучок когерентного света, и в воздухе за фотопластинкой возникли еще не очень четкие, но легко читаемые имена: Гюйгенс, Юнг, Френель! Возможность практического осуществления метода голографии была доказана, но настоящий триумф пришел к идее Габора лишь с изобретением мощных источников когерентного света — лазеров.

В 60-х годах XX столетия американские ученые Э. Лэйт и Ю. Упатниекс получили четкие голограммы, используя интенсивное красное излучение гелий-неонового газового лазера. Они посылали с помощью отклоняющего зеркала лазерный луч на освещаемый предмет и одновременно направляли так называемый опорный лазерный луч непосредственно на фотопластинку, где он встречался с отраженными от предмета лучами, давая четкую интерференционную картину в тонком слое фотоэмульсии. Рассматривать фотопластинки-голограммы надо было в красных лучах того же газового лазера.

В 1962 году Ю. Н. Денисюк внес несколько важных изменений в методику получения голограмм: он предложил посылать лазерные лучи на фотопластинку с обеих сторон и создавать скрытое интерференционное изображение в сравнительно толстых фоточувствительных слоях. Голограммы, снятые способом Денисюка, можно освещать при разглядывании уже не лазерным, а обычным солнечным светом — такие фотопластинки из множества лучей сами выделяют те, которые были использованы при получении голограммы.

Волшебные стекла, которые не страшно разбить

Голография стала бурно развиваться. Ученые сейчас стараются создать голографическое кино и телевидение. Степень воспроизведения реальной жизни в этом случае будет настолько высокой, что наверняка многим из зрителей захочется шагнуть прямо в экран и участвовать вместе с героями кинолент в их дальнейших приключениях.

Голография оказалась полезной в самых неожиданных случаях, например в книжном деле и хранении научной информации. На одной голографической пластинке удастся навечно записать в 200—300 раз больше страниц печатного текста, чем на обычной микрофото пленке! Снимая голограмму зыбкой поверхности моря, волнение которого вызвано не ветром, а источниками звука, установленными на дне, можно очень легко распознать любой объект — будь то ловец жемчуга, дельфин или тонущий корабль, — если он будет расположен между источником звука и поверхностью моря. «Нам сверху видно все», — сможет с полным правом сказать пилот летящего над морскими волнами вертолета, на борту которого будет установлен такой голографический фотоаппарат, пронизывающий своим «взглядом» морские глубины.

Армянский физик Виктор Афян предложил наносить слой голографической фотоэмульсии на плоские линзы Френеля. При этом можно одну фокусную точку превратить в три или четыре!

Представьте себе, что дорогая для вас фотокарточка порвана на кусочки. Вам придется их долго склеивать, чтобы снова восстановить изображение. Голограмму же не страшно разбить. Осветив любой из мелких осколков фотопластинки такой голограммы, мы увидим всю картину целиком. Удивительное свойство! Помните, как некоторые пресмыкающиеся свободно отрачивают оторванный хвост? Нам это кажется необъяснимым чудом природы. Голограммы способны на большее — они живут полноценной жизнью, даже разбитые на крохотные кусочки.



Прошло немного времени с тех пор, как в науке победило представление о «зернистости» излучения, были обнаружены корпускулы света — кванты, доказано существование атомов и электронов, созданы фотоэлементы и лазеры. Яростный противник атомистической теории, известный химик Оствальд и тот сдался, написав в предисловии к своему курсу лекций: «Теперь я убежден, что в последнее время мы получили опытное доказательство прерывного, или зернистого, строения материи...»

И вдруг свет вновь проявляет свои замечательные волновые свойства и ученые с помощью одних лазеров создают скрытые интерференционные картины, а с помощью других их воспроизводят, «рисую» в воздухе прекрасные объемные изображения предметов. Картины интерференции, считавшиеся самым убедительным свидетельством волновой природы света, теперь образуются с помощью лазеров, которые удалось изобрести только потому, что существуют кванты света!

Играет ли Бог в кости?

В прошлом веке физики пришли к выводу, что Природа значительно сложнее всех придуманных до сих пор теорий. Возникают новые научные направления — квантовая механика, а затем и квантовая электроника. Ученые теперь не только принимают за вполне естественный факт то, что любое излучение «едино в двух лицах», но и успешно доказывают, что только так, проявляя себя одновременно и волной, и частицей, и может существовать свет.

В науке появился еще целый ряд важных представлений, для которых не удастся подобрать привычных конкретных зрительных образов. Вспомним, например, про соотношение неопределенностей, выведенное немецким физиком Вернером Гейзенбергом. Из этого соотношения вытекает, что пока электрон принадлежит атому, неопределенность его местонахождения, его координаты в пространстве сравнимы с размерами атома. Электрон как бы «размазан» по атому. Физик-экспериментатор лишен (не кем-нибудь, а законами Природы!) возможности определить точное положение электрона. Может быть рассчитана лишь вероятность нахождения электрона в том или ином энергетическом состоянии или месте пространства.

С этим выводом квантовой теории никак не мог согласиться один из ее основоположников — Альберт Эйнштейн. В многолетних творческих спорах с Нильсом Бором, Максом Борном, Вернером Гейзенбергом и другими сторонниками статистического, вероятностного подхода к описанию поведения частиц Эйнштейн неизменно старался найти аргументы против доводов своих оппонентов. Когда Нильс Бор в 1961 году был в Москве в Физическом институте имени П. Н. Лебедева, он так волновался, рассказывая о страстных спорах, будто эти события происходили вчера. Бор мрачно хмурился: «Это был трагический момент. Ведь если бы Эйнштейн оказался прав, то все рухнуло бы!» Затем лицо Бора расплывалось в улыбке: «Но этого не произошло. Вот, что недосмотрел Эйнштейн...»

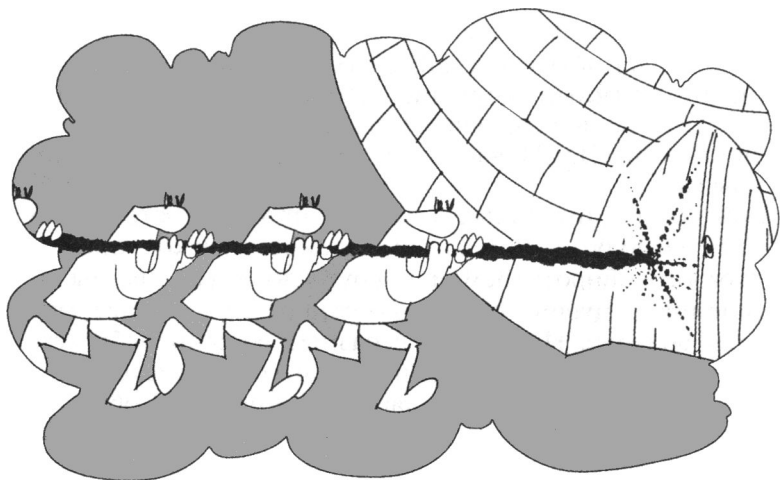
Квантовая механика выдержала проверку временем и выстояла под сокрушительными теоретическими «ударами» Эйнштейна. С ее помощью ученые получают поразительно точные результаты при расчетах сложных атомов и ядер, предсказывают появление и поведение элементарных частиц. Современную физику невозможно представить себе без квантовой механики.

Эйнштейн все же сохранил особое мнение по поводу многих выводов квантовой механики до конца жизни. Скрывая за шуткой глубоко переживаемое им чувство неудовлетворенности, Эйнштейн писал Максу Борну: «Ты веришь в Бога, играющего в кости, а я — в полную закономерность объективно существующего, и эту закономерность я пытаюсь уловить...» Хотя в другом месте письма Эйнштейн признавался: «Я понимаю, что принципиально статистическая точка зрения... содержит значительную долю истины».

Ученые не перестают размышлять не только над отдельными научными проблемами, но и делают постоянные попытки объединить все открытые до сих пор явления в единую стройную картину строения материи. Альберт Эйнштейн, например, часто предлагал ввести общее понятие поля, которое в виде особых состояний включало бы вещества, имеющие четкие границы, и безвоздушное пространство, частицы-кванты энергии и электромагнитные волны. «То, что действует на наши чувства в виде вещества, есть на деле огромная концентрация энергии в сравнительно малом пространстве. Мы могли бы рассматривать вещество, как такие области в пространстве, где поле чрезвычайно сильно. В нашей новой физике не было бы места и для поля, и для вещества, поскольку единственной реальностью было бы поле... Но до сих пор мы не имели успеха в последовательном выполнении этой программы», — слышится нам голос А. Эйнштейна, произносящего слова из книги «Эволюция физики», написанной им совместно с многолетним другом и коллегой Леопольдом Инфельдом. Эта книга о постоянном поиске исследователей Природы, об их сомнениях и о непрерывном стремлении к истине. Вот еще небольшой отрывок из нее: «Фундаментальные проблемы еще стоят перед нами. Мы знаем, что все вещество состоит из частиц немногих видов. Как различные формы вещества построены из этих элементарных частиц? Как эти элементарные частицы взаимодействуют с полем?»



МИР ОЧЕНЬ МАЛЕНЬКИЙ И... ОЧЕНЬ БОЛЬШОЙ



Весь зримый мир — лишь еле различимый штрих в необъятном лоне природы.

Б. Паскаль

Друг Френеля, академик Франсуа Араго писал о науке с тем легким затаенным дыханием, которое выдает пылкую и сдержанную любовь автора к предмету его повествования. Это особенно заметно, когда речь заходит об оптике или астрономии. Вот, например, два отрывка из сочинений Араго, переведенных на русский язык и изданных в Петербурге в 1860 году:

«Для надежного измерения светила надобно, чтобы изображение светила было ясно, обрезисто; но в то же время оно делается смутным или от паров, покрывающих стекло, или от слез, выступающих из глаза, приставленного к холодному металлу».

«Халдеи, лежа на высоких и благовонных террасах Вавилона, под вечно светлым небом, простыми глазами следовали за величественным и общим обращением небесной сферы, с ее блестящими звездами; уверившись в движении планет, Луны и Солнца, они замечали дни и часы затмений и старались открыть периоды, по которым можно было бы предсказать эти явления. Таким образом, халдеи положили основание астрономии, называемой созерцательною; не таково положение новых астрономов...»

Да, Араго был свидетелем первых крупных открытий как в теоретической, так и в экспериментальной астрономии, сделанных

с помощью новых оптических инструментов. В XIX веке уже сотни больших телескопов в разных странах мира были направлены на небо. Обнаружив невидимые оптические лучи, физики почти сразу же начали исследовать спектр ультрафиолетового и инфракрасного излучения, испускаемого Солнцем, планетами, далекими звездами.

Как полезно слушать эхо!

В 1931 году во время изучения атмосферных помех радиоприему Карл Янский, научный сотрудник одной из американских лабораторий, заметил, что интенсивность радиопомех имеет загадочную периодичность: каждые 24 часа они резко возрастают, а затем постепенно убывают.

Янский после длительных раздумий пришел к странному на первый взгляд выводу — помехи имеют космическое происхождение! После каждого оборота Земли вокруг своей оси звезды и планеты по отношению к радиоприемнику встают на прежнее место и все начинается сначала. Направляя в разные участки неба «ухо» антенны не очень мощной радиостанции (ведь это происходило в 1931 году!), сотрудники американской лаборатории все же обнаружили, что не вся Вселенная им мешает одинаково — наиболее сильным источником радиопомех является какой-то объект в созвездии Стрельца, расположенном почти в центре нашей Галактики. Видимо, он испускает мощное радиоизлучение.

Грозное дыхание приближавшейся Второй мировой войны заставило астрономов и физиков вместо мирного исследования звездного неба заняться изобретением радиолокаторов. Посылаемые во все стороны радиосигналы отражались от летящих самолетов и возвращались к приемнику, связанному со светящимся экраном электронно-лучевой трубки. На экране эскадрилью самолетов можно было увидеть задолго до того, как на город начинали падать бомбы.

Антенны радиолокаторов становились все больше и чувствительнее, радиопередатчики — мощнее, и после войны, когда небо над головой людей многих стран нашей Земли стало мирным и спокойным, все это очень пригодилось астрономам.

В 1943 году Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси теоретически доказали, что от ближайшего к нам небесного тела — Луны можно получить отраженный сигнал. В 1946 году венгерские и американские физики послали к Луне радиолуч и получили слабенький, но явный ответ! Это были первые измерения расстояния от Земли до Луны по запаздыванию посланного и отраженного радиосигнала. На очереди стояли планеты Солнечной системы, и прежде всего самые близкие к Земле — Венера и Марс.

Астрономы стали строить особые большие приборы — радиотелескопы, предназначенные для приема слабого радиоизлучения, посылаемого многими (как к тому времени выяснилось!) очень интересными звездными объектами. Радиоастрономия, родившаяся

в XX столетии, быстро догоняла оптическую астрономию, возникшую в далекие времена Галилея.

Голос далеких миров

Сердцем любого радиотелескопа служит приемная антенна. Ее конструкция бывает самой различной. Антенна может быть сделана в виде отражающего зеркала-параболоида, собирающего радиолучи на чувствительный приемник, установленный в его фокусе. Эти аппараты используют, конечно, не только для изучения радиоизлучения звезд и планет, но и для приема радиосигналов от межпланетных космических станций и со спутников Земли. С их помощью космонавты по радио обсуждают проводимые эксперименты, разговаривают со своими семьями.

Необычайное событие подстегнуло энтузиазм строителей радиотелескопов. В 1967 году группой астрономов из Кембриджа была открыта звезда, посылавшая строго периодические пульсирующие радиосигналы и получившая поэтому название пульсара. Конечно, первая мысль участников эксперимента и всех ученых, кто узнал об этом раньше других, была одинаковой — наконец-то обнаружена внеземная цивилизация! Однако буквально через год десятки пульсаров были найдены в разных участках Вселенной. С мыслью о разумных существах, сообщающих нам сведения о себе, пришлось расстаться (сигналы от всех пульсаров были слишком одинаковыми!), но энтузиазм ученых возрос необычайно. Ведь природа новых звездных объектов была совершенно непонятной.

Многие ученые, считавшие до сих пор исследования атомного ядра и элементарных частиц наиболее интересными областями физики, стали «поглядывать» в небо. Может быть, там, в огромных природных лабораториях и ускорителях, в условиях невероятных давлений и температур, можно не только проверить новую теорию, но и провести «мысленный эксперимент»?

Как хорошо, что наша звезда — Солнце

Астрономы уже довольно давно доказали, что Солнечная система, к которой принадлежит планета Земля, находится в сравнительно удаленной области одной из галактик. Необъятная Вселенная усеяна галактиками, и в каждой из них миллиарды своих солнечных систем. Наше Солнце, к счастью, оказалось довольно «уравновешенной» звездой. По сравнению с другими звездами даже вспышки на Солнце спокойные — в них выделяется (и то далеко не всегда) не больше одной тысячной доли от мощности излучения всего Солнца. Такие вспышки практически ничем не грозят жителям Земли: лишь на несколько часов прерывается радиосвязь на коротких волнах из-за бурного перемешивания слоев ионосферы, отражающей радиоволны.

Многие галактики и звезды живут значительно активнее. Во Все-

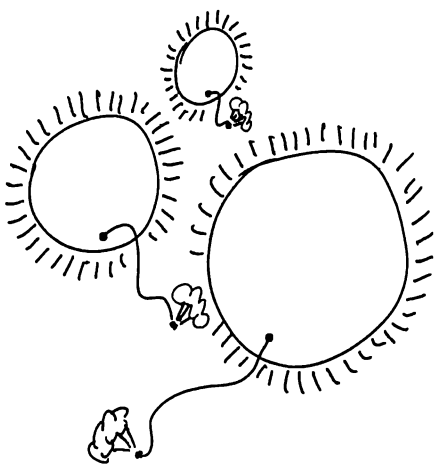
ленной имеется большое количество звезд, масса которых в несколько, а то и в десятки раз превосходит массу Солнца. Эти звезды очень быстро сжигают свое термоядерное горючее. Тяжелые внешние слои такой звезды падают к центру и их уравнивает давление, возникающее благодаря мощному потоку излучения, — ведь в середине массивной звезды развивается очень высокая температура.

Массивная звезда интенсивно расходует свой водород, превращая его в гелий. Звезда продолжает сжиматься, в ее центре уже 80—100 миллионов градусов! Начинается реакция между ядрами гелия, образуются новые химические элементы, и в сердцевине звезды возникают, сменяя друг друга, кислородное, магниевое, железное ядра. Когда температура в центре массивной звезды достигает астрономических значений в 5—6 миллиардов градусов, ядра железа начинают «рассыпаться», звезда еще больше сжимается и ее оболочка падает внутрь. Этот процесс даже получил особое название: взрыв вовнутрь. Оболочка звезды при этом сильно разогревается, и звезда сбрасывает ее, выделяя огромное количество энергии. Возникает невероятной силы взрыв сверхновой звезды. Во время этого взрыва появляется световое излучение, в миллионы раз превосходящее светимость нашего Солнца!

По-видимому, такие взрывы происходят в других галактиках приблизительно один раз в сто лет, и их не всегда удастся заметить на большом расстоянии из-за межзвездной пыли или облаков газа, поглощающих свет. И тем не менее в XV и XVI веках великие астрономы Браге и Кеплер наблюдали вспышки сверхновых звезд! Внимательные китайские и японские астрономы еще в 1054 году нашей эры заметили взрыв сверхновой звезды, записав в своих хрониках, что ее было видно днем, как Венеру. «Через год она постепенно стала невидимой», — отметили древние астрономы, что позволяет нам с уверенностью считать, что они видели именно вспышку сверхновой звезды. Современным астрономам и астрофизикам легче —

сверхновая звезда излучает не только видимый и невидимый свет, но и радио-, рентгеновское и гамма-излучения! Чувствительные приборы на Земле сумеют их зафиксировать, даже если свет от взрыва будет задержан межгалактической пылью.

Ученые сейчас особенно остро ощущают необходимость во все более совершенных инструментах, смотрящих в небо, слушающих голоса Вселенной и постоянно следящих за звездами.



Космическое «точило»

Ученые заняты, конечно, не только проблемой, как больше принять с неба радиосигналов или точнее определить, откуда они исходят, но и поисками ответа на основной вопрос: каким образом возникает космическое радиоизлучение?

Один из механизмов появления радиоизлучения был понятен сразу: он такой же, как у инфракрасного излучения, — тепловой. При высокой температуре вращательные и колебательные движения молекул резко усиливаются, молекулы начинают излучать невидимые инфракрасные лучи (в основном) и радиоволны.

Но во Вселенной встречается множество объектов, у которых интенсивность радиоволн значительно превышает тот уровень, который полагается иметь объекту при его температуре. Выяснилось, что у этих объектов — одиночных и двойных звезд, у бурно живущих газовой-пылевых туманностей, активных ядер звезд — достаточно сильные магнитные поля. Свободные электроны, «сорванные» с атомов под воздействием ускоренных протонов, ионов и ультрафиолетового излучения звезд, начинают двигаться в магнитном поле и, тормозясь при этом, отдают свою энергию в виде радиоизлучения, света и даже рентгеновских лучей.

Характер и спектр этого излучения, получившего название магнитотормозного, или синхротронного, зависят от многих причин, в частности, от напряженности магнитного поля и начальной скорости свободного электрона. Вращаясь вокруг магнитной силовой линии, электрон при каждом обороте дает вспышку, всплеск электромагнитного излучения. Как образно говорит один из авторов этого получившего всеобщее признание физического объяснения, академик В. Л. Гинзбург: «...электромагнитные волны испускаются подобно искрам, если точить нож на вращающемся точиле».

Если вращение электрона будет достаточно быстрым, то искры сольются, давая практически непрерывное радио-, оптическое или рентгеновское излучение. Космическое «точило», как правило, работает на высоких оборотах.

Полезный совет... из другой галактики

Магнитотормозное излучение можно наблюдать и на Земле, в ускорителях-синхротронах. Летящие в магнитном поле ускоренные электроны светятся. Наблюдаемое в просторах Вселенной, это излучение оказалось таким мощным, что конструкторы размышляют о создании специальных ускорителей, эффективно преобразующих энергию электронов в другие виды электромагнитного излучения. Может быть, вскоре появятся мини-ускорители, которые заменят рентгеновские трубки. Эффект, открытый на Земле и обнаруженный затем у далеких звезд и галактик, удастся «вернуть» на Землю...

Строительство ускорителей электронов, протонов, многозарядных

ионов для изучения элементарных частиц и свойств атомов, молекул, ядер — особая область физики, о которой можно было бы написать отдельную книгу. Однажды на научном семинаре один из известных физиков-теоретиков хорошо сказал: «Проектирование ускорителей — это не теоретическая физика, это и не экспериментальная физика, это... проектирование ускорителей».

Нетепловое рентгеновское излучение может, конечно, возникать не только за счет магнитотормозного механизма. Во время вспышек на Солнце или разлета оболочек сверхновых звезд источником радиоизлучения служат колебания в проводящем ионизированном газе. Рентгеновское или гамма-излучение часто рождаются при столкновении быстрых электронов с фотонами, протонами и тяжелыми ядрами, вызывая в них перестройку, приводящую к выбросу гамма-квантов.

Астрофизики настолько подробно изучили характер космического радиоизлучения, что по приходящим к нам сигналам умеют быстро определять, отражением какого процесса во Вселенной они являются. Нетепловое радиоизлучение, которое не сопровождается инфракрасным или видимым излучением, может служить доказательством, что открыт новый космический объект, возможно целая радиогалактика, заслоненная от нас газово-пылевым облаком. Тепловое радиоизлучение на длине волны 21 сантиметр принадлежит огромным облакам нейтрального водорода — основному веществу Вселенной.

Теория, нашедшая подтверждение через тридцать лет

До изобретения новых мощных инструментов познания Вселенной физики жили значительно спокойнее — квантовая механика объясняла все, что не укладывалось в рамки классической физики. Почти все казалось понятным. Наступило некоторое затишье.

Как это уже случалось не раз, тишина оказалась обманчивой, а передышка — недолгой. На мирном, усеянном звездами небосклоне в середине 60-х годов нашего столетия астрономы обнаружили необыкновенные объекты, существование которых казалось совершенно необъяснимым.

Объекты получили название квазагов и квазаров. Эти короткие и звучные имена расшифровываются довольно длинно: квазизвездные источники радиоизлучения (квазары) и квазизвездные галактики (квазаги). Приставку «квази» можно перевести на обычный «ненаучный» язык словом «как бы».

Почему же астрономы не рискнули назвать обнаруженные объекты просто звездами или галактиками, а придумали для них осторожные выражения «как бы»-звезды, «как бы»-галактики? Их осторожность и удивление можно понять... Приведем несколько характерных цифр.

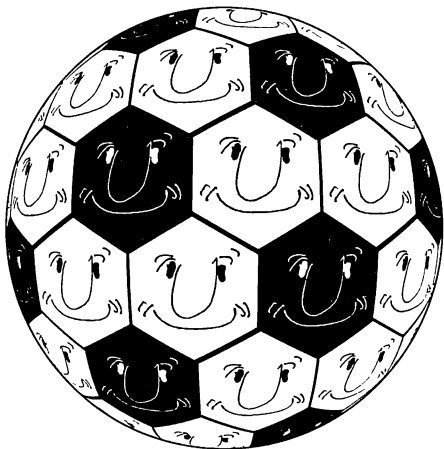
На фотографиях квазары и квазаги практически неотличимы от

обычных звезд и галактик, как выяснилось, из-за того огромного расстояния, где их, как правило, обнаруживают, — в 1,5—2 миллиардах световых лет от нас. Точные измерения мощности излучения с учетом удаленности от Земли привели к значениям, в которые трудно поверить: яркое ядро этих объектов, диаметр которых почти в тысячу раз меньше, чем у нашей Галактики, испускает света (только в видимой части спектра!) в десятки раз больше, чем вся наша Галактика! Необыкновенно и радиоизлучение квазаров. Для квазаров оно пока не зафиксировано.

Какой физический механизм может привести к столь огромному выделению энергии? Термоядерные реакции, подобные тем, что происходят на Солнце, слишком слабы для объяснения этих процессов. Может быть, как в случае вспышек сверхновых звезд, в яркости квазаров и квазаров «виноваты» силы тяготения?

Ученые упорно ищут разумную теорию открытых явлений, иногда возвращаясь к, казалось бы, давно оставленным научным гипотезам. Еще в 1932 году академик Л. Д. Ландау говорил, что звезды большой массы должны иметь сердцевину, состоящую из ядер, в которых протоны (до сих пор мирно уживающиеся с соседями-нейтронами) замещены на нейтроны. Целиком нейтронные ядра и, следовательно, нейтронные звезды!

Ландау показал еще тогда, в 1932 году, задолго до экспериментального открытия этих звездных объектов, что, если электроны каждого атома приближаются к своему ядру, «падают» на него и при реакции с протонами рожают нейтроны и еще несколько других видов элементарных частиц, то должно выделяться огромное количество энергии. Для осуществления такой реакции вещество звезды нужно сжать до огромных плотностей, превышающих плотность самых тяжелых материалов во многие триллионы раз. Еще бы — вещество приходится практически лишить электронов, образовать нейтронные ядра и еще прижать их почти вплотную друг к другу. Получается не вещество, а одно сплошное гигантское нейтронное ядро!



В 1934 году американские астрономы В. Бааде и Ф. Цвикки высказали предположение, что при вспышках сверхновых звезд именно благодаря образованию нейтронных ядер в условиях сжатия вещества может освобождаться то невероятное количество энергии, которое астрономы наблюдают в этих процессах.

Сейчас эти представления подтвердились. Ученые считают, что так удивившие всех в 1967 году

пульсары являются нейтронными звездами, которые быстро вращаются вокруг своей оси. Сердцевина нейтронных звезд состоит, вероятно, из сверхтекучего вещества. Физики, как хорошие следователи, умело восстанавливают события минувших дней. Взрыв сверхновой звезды, который наблюдался в 1054 году там, где образовалась Крабовидная туманность, считают они, действительно привел к появлению пульсара — нейтронной звезды.

«Нечто маленькое и нейтральное»

У современной физики сложные и взаимно полезные «отношения» со Вселенной, с процессами, происходящими в галактиках и звездах. Обычно физики-теоретики и химики-теоретики, когда речь идет о составе атмосферы далеких планет, логично и обоснованно объясняют данные, получаемые астрофизиками и астрономами, внимательно наблюдающими за событиями в далеких от нас мирах, и убедительно истолковывают результаты измерений космических зондов и станций. Однако некоторые научные открытия произошли в обратном порядке: сначала физик-теоретик вообразил некую новую элементарную частицу (как любят писать журналисты: «она возникла на кончике пера»), экспериментаторы с трудом ее обнаружили, и теперь без этой частицы нельзя себе представить ни ядерных процессов, идущих в атомных реакторах, ни реакций в центре Солнца, ни взрывов звезд и галактик.

В конце двадцатых годов прошлого столетия излучение быстрых электронов ядрами некоторых элементов (как правило, в результате естественной радиоактивности) физики называли бета-распадом или испусканием бета-лучей. Видимо, после каскада блестящих открытий, сделанных на рубеже XIX и XX веков, даже выброс электронов хотелось назвать испусканием каких-нибудь лучей. Изучая бета-распад, при котором (как выяснилось немного позднее) нейтрон внутри ядра превращается в протон, испуская электрон, ученые обнаружили, что ядра одного элемента могут превращаться в ядра другого элемента, а энергии вылетающих электронов могут быть при этом самыми разнообразными. Но ведь они должны были бы быть тоже одинаковыми? Закон сохранения энергии — краеугольный камень физической науки — оказался под угрозой!

Физик-теоретик Вольфганг Паули в 1930 году решил, что вывести физику из очередной серьезной «катастрофы» может только одно смелое предположение: одновременно с электроном из ядра вылетает очень легкая, возможно нейтральная, частица и, оставаясь не замеченной экспериментаторами, уносит ту часть энергии, которой физикам не хватало для сведения энергетического баланса. Конечно, Паули с трудом решился на такой шаг, как выдумывание новой частицы, да еще такой, которая, как человек-невидимка, упорно и умело ускользает от приборов и экспериментаторов. «Однако, не рискнув, не выиграешь», — сказал

Паули и послал 4 декабря 1930 года письмо с этими словами и описанием своих соображений в адрес конференции по вопросам радиоактивности, проходившей в то время в городе Тюбингене.

Паули написал свое письмо в откровенно шутиливом тоне, заранее спасая себя от упреков в научном легкомыслии. «...Пока я не решаюсь публиковать что-нибудь по поводу этой идеи, — писал Паули, — и с доверием обращаюсь только к Вам, дорогие радиоактивные дамы и господа, с вопросом, можно ли экспериментально доказать существование такого нейтрона, если он будет обладать проникающей способностью примерно такой же или в 10 раз большей, чем гамма-кванты?» Заканчивалось письмо словами: «К сожалению, я сам не могу появиться в Тюбингене, так как предстоящий в Цюрихе бал в ночь с 6 на 7 декабря лишает меня этой возможности...»

Ответ на шутиливое письмо оказался для Паули неожиданным. Многие физики сочли мысль о сильно проникающих нейтральных частицах, рождающихся в ядре в момент бета-распада, весьма разумной. Идея Паули завоевывала все больше сторонников, и к концу 30-х годов выдающийся итальянский физик Энрико Ферми построил законченную теорию бета-распада с неперменным участием частицы, предложенной Паули. Энрико Ферми назвал ее «нейтрино», что в переводе с итальянского означает «нечто маленькое и нейтральное», а может также ласково звучать и как «нейтрончик».

Тяжелый, массивный, не имеющий заряда нейтрон был к этому времени экспериментально открыт Дж. Чедвиком, учеником Э. Резерфорда. Физики уже знали, что из разнообразных сочетаний положительно заряженных протонов и нейтронов (эти частицы получили общее название нуклонов) состоят ядра всех известных химических элементов. А вот неуловимый «нейтрончик» никак не удавалось обнаружить, хотя, как и полагается всякой полноценной элементарной частице, у него в теории был даже близнец-двойник: антинейтрино, «антинейтрончик»

В недрах Солнца

Рядом с физиками, занятыми загадками нейтрино, работали исследователи, задававшие себе простой, но волнующий вопрос: почему светит Солнце? Работали в тех же университетах и институтах, совершенно не подозревая о том, что очень скоро эти два столь различных по внешним масштабам и содержанию предмета изучения — нейтрино и Солнце — станут неразлучными. Конечно, первая гипотеза — ответ на вопрос, откуда Солнце берет свою энергию, — была основана на представлениях теории тяготения. Солнце постепенно сжимается, и энергия частиц, составляющих его, при приближении к центру шара переходит в свет, в электромагнитное излучение различных длин волн.

Ученые научились достаточно точно измерять количество излучаемой Солнцем энергии. И простой расчет показал: если основной

источник энергии — притяжение газовых частиц облака большого диаметра (каким Солнце было когда-то!) друг к другу, то Солнце светит всего 50 миллионов лет. Но ведь в толще Земли найдены урановые породы, возраст которых составляет 3,7 миллиарда лет! Эта цифра не вызывает сомнений благодаря тому, что был достаточно точно определен период полураспада радиоактивных элементов, что позволило создать радиоизотопный метод определения возраста самых разных объектов, который физика подарила геологии, археологии, истории, искусствоведению. Например, уран имеет период полураспада 4,5 миллиарда лет (за это время половина его содержимого в какой-либо руде превращается в свинец). Для радиоактивного углерода период полураспада составляет около 5685 лет — цифра, очень удобная для правильной расшифровки возраста древних папирусов и деревянных предметов наших предков. Радиоактивный изотоп углерода непрерывно образуется в верхних слоях земной атмосферы под действием космических лучей, а поскольку оба изотопа непрерывно поглощаются живыми организмами из атмосферы, изотопный состав углерода в них совпадает с изотопным составом окружающей атмосферы и начинает изменяться лишь после их гибели.

Так неужели Земля старше Солнца? Конечно, это противоречило бы всякой логике. Новая, уже очень близкая к истине гипотеза возникла, когда ученые, измерив массу атомов водорода и гелия, обнаружили, что при превращении четырех ядер водорода в ядро гелия «куда-то» исчезает 0,8% их массы. А ведь если превратить эту массу в энергию и выполнить простой расчет, пользуясь знаменитым соотношением Эйнштейна (энергия равна массе, умноженной на квадрат скорости света), то тогда и станет ясной причина столь огромного выделения энергии нашим Солнцем! Довольно много сил и времени ушло у физиков на то, чтобы определить, при какой температуре возможна термоядерная реакция превращения водорода в гелий. Кстати, реакция тоже впервые, как и химический элемент гелий, обнаруженная на Солнце и только потом нашедшая свое бурное применение на Земле.

Наконец, физики смогли определить, что для реакций в центре Солнца вполне достаточно 10—15 миллионов градусов. При этом и термоядерные реакции идут, и наша любимая звезда светит спокойно, устойчиво и равномерно в течение времени, вполне устраивающего, как мне кажется, большую часть человечества, — десятки миллиардов лет!

Бесценная невидимка

Физикам хотелось еще детальнее и подробнее описать, что же происходит в недрах Солнца. И вот, опираясь на теорию бета-распада, созданную Энрико Ферми, другой известный физик Ганс Бёте логично и стройно доказал, что в центре Солнца происходит не одна, а несколько термоядерных реакций, которые он назвал ядер-

ными циклами. В одном из них, получившем название водородного цикла, целых пять реакций, в двух из которых выделяются гамма-кванты, а в двух других — еще не открытые нейтрино!

Разумеется, доказать справедливость теории Бёте можно было только одним способом — зарегистрировать на Земле конечные продукты предложенных им ядерных реакций. В этот момент ученые, вероятно, впервые обратили внимание не только на недостатки, но и на несомненные достоинства еще не обнаруженных частиц-невидимок.

Гамма-кванты пробегают до своего следующего столкновения с частицей или атомом очень небольшое расстояние. При этом рождаются новые гамма-кванты, но уже совсем других, меньших энергий. Превращаются они также в рентгеновское и инфракрасное излучение. Кроме этого, с поверхности Солнца испускаются обычные световые фотоны, обладающие сравнительно малой энергией. Конечно, это отдаленные потомки гамма-квантов, рожденных в центре Солнца... Кто-то из физиков даже подсчитал, что им пришлось пробираться к поверхности Солнца около 30 миллионов лет!

Нейтрино, для которых характерно почти полное «пренебрежение» к окружающему веществу (ведь они практически ни с чем не вступают во взаимодействие), летят к нам прямо из центра Солнца. Вот кто способен принести вести из самой горячей точки битвы за энергию, ту энергию, благодаря которой зародилась и поддерживается жизнь на Земле.

Вскоре выяснилось, что нейтрино других энергий и в результате других реакций возникают и при взрывах сверхновых звезд, и при рождении квазаров и пульсаров, при возникновении таинственных двойных звезд, одна из которых видимая, а другая — невидимая. Мощный поток излучения нейтрино сопровождает и последнюю стадию жизни массивной звезды — превращение ее в «черную дыру», «засасывающую» в себя окружающую материю и излучение.

Трудно найти слова, которыми можно было бы описать изменившееся отношение физиков к частице-невидимке. Вероятно, таким почтительным вниманием и интересом до нее не пользовалась в физике ни одна элементарная частица. Ведь только от нейтрино теперь зависело, будет ли внесена ясность в представления физиков о процессах, происходящих во Вселенной.

За шуткой Паули все же скрывалась правда

Физики были убеждены, что не только на Солнце и звездах, а и в атомных реакторах освобождается огромное количество нейтрино и антинейтрино. Американские ученые Ф. Райнес и К. Коуэн тщательно продумали и в 1953—1956 годах осуществили очень изящный эксперимент. Заметим попутно, что эксперимент, в осуществимость которого почти никто не верил, так увлек Фреда Райнеса, что он даже переквалифицировался из «чистых» теоретиков в «чистого» экспериментатора.

Около мощного реактора физики поставили бак, наполненный жидким сцинтиллятором — прозрачным для собственного излучения люминофором, в котором возникает короткая вспышка света при попадании в него быстрой заряженной частицы. По замыслу Ф. Райнеса и К. Коуэна, антинейтрино, возникающие при распаде нейтронов в атомном реакторе, бомбардируя ядра водорода, входящего в состав молекул сцинтиллятора, должны были превращать протоны ядер в нейтроны и позитроны.

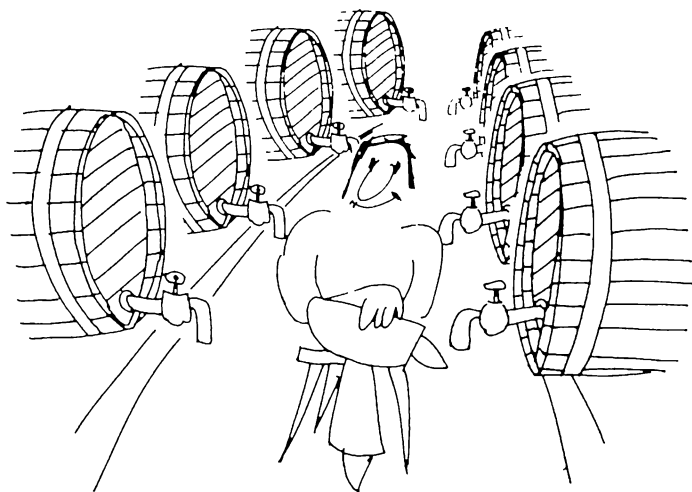
Двигаясь в жидком сцинтилляторе, позитрон встречается со свободным электроном и аннигилирует (таким сложным словом называют физики процесс, происходящий при встрече вещества и антивещества, в данном случае — двух совершенно одинаковых частиц, отличающихся только зарядами). В результате этой быстрой и последней для обеих частиц встречи рождаются частицы совсем другой природы — два гамма-кванта! Чуткие датчики, установленные на стенках бака, тут же должны были зарегистрировать две вспышки света при появлении двух гамма-квантов.

Но на этом эксперимент не заканчивался. А вдруг эти вспышки возникли от случайно попавших в бак космических частиц высоких энергий? Кроме позитрона, в результате реакции образовывался еще и нейтрон. В сцинтилляторе было много атомов кадмия, ядра которых после захвата нейтрона тоже излучали свои гамма-кванты — только чуть позднее (через несколько микросекунд) вспышек, рожденных при встрече позитрона и электрона. Сложная электроника регистрировала атомное событие как положительное, ожидаемое физиками, если друг за другом обязательно проходило несколько вспышек света, причем со строго определенной интенсивностью и интервалом между ними.

Телескопы, менее всего похожие на... телескопы

Наступило время надежд — физики принялись искать способы обнаружить поток нейтрино, летящих к Земле от Солнца, звезд и других галактик. В нескольких странах — в СССР, США, Италии появились установки, получившие гордое название нейтринных телескопов. Это название полностью соответствовало их назначению. Но устройство и внешний вид новых телескопов были не похожи не только на привычную для нашего глаза форму и конструкцию оптических телескопов, но и не имели ничего общего даже с радиотелескопами, к которым мы только-только успели привыкнуть...

В 1946 году известный ученый Бруно Максимович Понтекорво, будущий академик, а до Второй мировой войны — сотрудник и коллега Энрико Ферми, предложил регистрировать нейтрино в огромном баке с органической жидкостью — перхлорэтиленом, в котором много атомов хлора. Энергичные нейтрино с энергией 0,8 миллиона электрон-вольт будут превращать атомы хлора в радиоактивные атомы инертного газа аргона, который затем легко вывести из бака.



Число радиоактивных атомов аргона очень просто определяют установленные на всех гранях бака быстродействующие счетчики.

Счетчики измерят количество частиц, излучаемых такими атомами, тем более что физикам уже было хорошо известно, что радиоактивный аргон «высвечивает» 7% своей энергии в виде рентгеновских квантов, а 93% передает вылетающему из атома электрону.

Расчеты показали, что вероятность обнаружения нейтрино таким хлораргонным методом будет тем выше, чем больше размеры бака с перхлорэтиленом, который используют исследователи, и чем глубже под землю они его спрячут — для того чтобы в бак не «залетали» случайные космические частицы и не попадало излучение от радиоактивных руд.

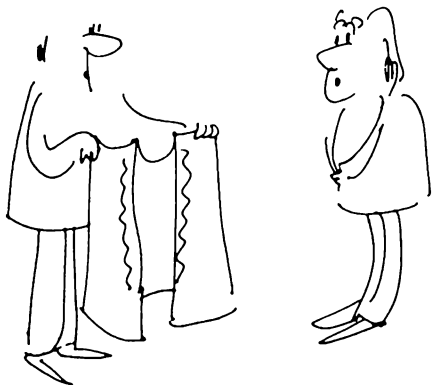
В мире нашелся смельчак, который более двадцати лет упорно работал над нейтринным телескопом такого типа. Огромный бак-телескоп, опущенный в 1967 году на глубину 1490 метров в заброшенную шахту для добычи золота в штате Южная Дакота в США, вмещал 610 тонн перхлорэтилена! Имя ученого, практически в одиночку проводившего эти трудоемкие исследования, — Рэй Дэвис.

В 1974 году Дэвис на основании измерений, выполненных и тщательно перепроверенных в течение нескольких лет, объявил: нейтрино от Солнца надежно регистрируются его установкой, но их оказалось в несколько раз меньше, чем предсказывали теоретики.

С одной стороны — явный успех: обнаружено не только антинейтрино, но и само нейтрино, причем не от атомного реактора, а непосредственно от Солнца! С другой стороны — что-то не в порядке или с методом обнаружения нейтрино, или с теоретическими моделями, на основании которых физики рассчитывали поток нейтрино от Солнца. Совершенно очевидно, что поиск надо вести в обоих направлениях — строить новые нейтринные телескопы и по-прежнему мысленно «заглядывать» в недра Солнца, размышлять над всеми возможными там ядерными циклами.

Человечество вглядывается в прошлое, чтобы точнее предсказать будущее

Из всех известных сейчас элементарных частиц только нейтрино может пересечь наш бесконечный мир, выполняя, по выражению академика В. Л. Гинзбурга, роль «нового канала связи во Вселенной». С помощью нейтрино ученые надеются получить сведения о самых отдаленных периодах в астрономическом прошлом, например о бурной эпохе зарождения звезд и планетных систем из газово-пылевых облаков. Происходил этот процесс, видимо, 8—10 миллиардов лет назад.



Сколь краткими кажутся мгновения отдельной человеческой жизни по сравнению с этими цифрами!

Для человека хорошая память других людей о событиях, произошедших с ними 20—30 лет назад, кажется чем-то исключительным, а здесь мы хотим, чтобы нейтрино «помнили» то, что произошло миллиарды лет тому назад с нашей Солнечной системой!

Нас трогает и удивляет, например, что англичане — народ, верный традициям, — бережно хранят воспоминания о незначительных мелочах прошедшей жизни...

Здесь невольно вспоминается рассказ академика П. Л. Капицы о его посещении Англии в 1966 году. Коллеги Капицы устроили в честь старого друга и его жены торжественный обед в зале Тринити-колледжа, хорошо знакомом советскому гостю еще по довоенным годам работы в лаборатории Резерфорда. Неожиданно заметив, что все присутствующие на обеде облачены в торжественные докторские мантии, Капица тихо подозвал официанта и попросил принести его мантию, которую он забыл в прихожей. «И давно вы ее забыли, сэр?» — спросил официант. «Да лет тридцать тому назад». Официант вышел из зала и вернулся с мантией Капицы...

Тонкий юмор Капицы хорошо известен сотрудникам и друзьям академика, и они просили его вновь и вновь рассказывать эту историю, пока он не осознал, что официант принес мантию лишь на следующее утро и, видимо, не совсем ту самую, которую Капица когда-то в Англии надевал по торжественным случаям. Конечно, в первоначальном виде, слегка исправленном воображением рассказчика, история с мантией выглядела красочнее.

Не будем же и мы требовать от нейтрино немедленного рассказа о прошлом Вселенной. Пусть тайны раскрываются постепенно, лишь бы истина становилась все ближе...

Неожиданный результат экспериментов Рэя Дэвиса по-прежнему не дает покоя ученым. Известный астроном, академик А. Б. Северный

на основании открытых им пульсаций Солнца (каждые 240 минут поверхность Солнца «вздымается» на 10 километров!) считал, что это равномерное «дыхание» нашего светила возможно лишь в том случае, если температура в его недрах не 10—15 миллионов градусов, а в два раза меньше. При этом значительно падает и поток нейтрино!

Некоторые физики думают и о возможности периодического (правда, небольшого — на 10—20%) охлаждения недр Солнца, например, в течение короткого отрезка времени один раз в несколько миллионов лет, и подкрепляют эту гипотезу внезапным наступлением ледниковых периодов на Земле.

Эту гипотезу трудно проверить — ведь до поверхности Солнца кванты света добираются, как мы уже упоминали, целых 30 миллионов лет, и только тогда оптические телескопы заметят изменение светимости Солнца. В то же время более низкий поток нейтрино (если мы действительно застали сейчас стадию охлаждения недр Солнца) пробегает путь от центра Солнца до установки Рэя Дэвиса всего за 8 минут. «Просто Дэвису не повезло, — шутят физики, — ему надо было начать свой эксперимент на 20—30 миллионов лет раньше».

Возможно и еще одно объяснение расхождения опыта с теорией в солнечных нейтринных экспериментах, проведенных до настоящего времени: ученые еще не все знают о самом нейтрино. Много лет считалось, что нейтрино не имеет массы покоя — как квант света; только родившись, нейтрино начинает двигаться, и лишь тогда можно говорить о его массе и переносе им какой-либо энергии.

Группа физиков из Института теоретической и экспериментальной физики в Москве провела невероятно трудный и тонкий эксперимент, результаты которого говорят о том, что крошечная масса покоя у нейтрино все же есть! Она составляет от одной десятитысячной до одной тридцатитысячной массы электрона. По мнению академика Я. Б. Зельдовича, это открытие все сразу «ставит на свои места».

Объясняется и низкий поток нейтрино от Солнца. Оказывается, что при наличии у нейтрино массы покоя один вид нейтрино превращается в другой, который не регистрируется детектором Рэя Дэвиса. Становится понятным и расхождение, которое уже давно волнует умы астрофизиков: теоретически вычисленная масса вещества, заключенного в галактиках и звездах, всегда получается меньше массы вещества в наблюдаемой части Вселенной. Если нейтрино имеет массу покоя (а в одном кубическом сантиметре космического пространства в среднем содержится примерно 500 фотонов и 450 нейтрино разных сортов!), то «вес» этих легких частиц, умноженный на размеры наблюдаемой части Вселенной, вполне достаточен, чтобы огромные мысленные весы Вселенной уравнились.

Конечно, последуют все новые и новые эксперименты по определению массы нейтрино — слишком важен этот результат, как мы видим, для будущих успехов в познании Вселенной. Ведь главное не построить стройную теорию, а доказать, что она соответствует действительности, отражает реальность окружающего нас мира.

Недаром еще более трех веков назад знаменитейший английский ученый и философ Фрэнсис Бэкон говорил: «...власть человека над вещами целиком зависит от успехов науки и знания, ибо мы можем управлять природой, лишь повинаясь ей».

Много интересного и необычного узнают о Природе исследователи, стремящиеся к истине. Несмотря на все величие достижений современной науки, физики не забывают слова одного из своих коллег: «...существование людей зависит от любознательности и сострадания. Любознательность без сострадания — бесчеловечна. Сострадание без любознательности — бесполезно...»

Многих ученых сейчас интересуют не только грандиозные процессы выделения энергии нейтронными звездами или мгновенные превращения элементарных частиц; их волнует открытая современной физикой разнообразной помощи биологам и медикам, помощи человеку теми великолепными устройствами и сложными приборами, которыми владеют пока лишь представители точных наук.

Одно очень важное свойство роднит физику с философией, из которой она вышла, — физика может убедительно, с помощью цифр и фактов ответить на вопрос любознательного человека: велик или мал мир, в котором мы живем? И тут же возникает вопрос-близнец: велик или мал человек?

Ученый и писатель Блез Паскаль называл человека «мыслящим тростником», подчеркивая тем самым, что человек хрупок, слаб и беззащитен перед явно превосходящими силами неживой Природы; единственное оружие и защита человека — его мысль.

Вся история физики убеждает, что обладание этим неосязаемым и невидимым оружием дает возможность человеку проникнуть необычайно глубоко в мир бесконечно малых элементарных частиц и достичь самых далеких уголков нашей необъятной Вселенной.

Физика показывает нам, как велик и в то же время близок мир, в котором мы живем. Физика позволяет человеку почувствовать все свое величие, всю необыкновенную силу мысли, которая делает его самым могущественным существом на свете. «Я не становлюсь богаче, сколько бы ни приобретал земель... — писал Паскаль, — а вот с помощью мысли я охватываю Вселенную».



ОБ АВТОРЕ

Весной 1959 года Марк Колтун, выпускник Московского химико-технологического института им. Д.И. Менделеева, пришел во Всесоюзный научно-исследовательский институт источников тока (ВНИИТ) и попал в лучший его отдел, в котором в то время разрабатывались первые в стране солнечные элементы (полупроводниковые преобразователи солнечной энергии в электрическую) для космической техники.

Молодой ученый сразу занялся важной и сложной проблемой — созданием специальных оптических покрытий, без которых эффективная работа солнечных элементов невозможна. Надо было разработать технологию получения таких покрытий на поверхности элементов, причем не были известны ни материалы покрытий, ни методы их нанесения. Другими словами, требовалось создать новую отрасль в технической физике полупроводников.

И М. Колтун с сотрудниками эту область создал — за четверть века было не только разработано и испытано огромное количество покрытий с нужными свойствами, но и налажено большое число технологических линий для их промышленного производства. На всех наших космических аппаратах работают покрытия, созданные М. Колтуном.

Талантливый исследователь, М. Колтун умел доводить и всегда доводил свои научные разработки до практического внедрения. А кроме того — он обладал даром находить единомышленников и соратников в среде коллег, объединять их, организовывать в продуктивно работающую высокопрофессиональную команду энтузиастов своего дела.

И еще он очень любил и умел учить. Чтение авторских курсов в Московском физико-техническом институте, руководство аспирантами, дипломниками, которые по окончании института становились его сотрудниками — так практически реализовался этот талант Колтуна.

А в 1978 году Марк Михайлович написал свою первую научно-художественную книгу для детей (так был обозначен ее жанр издательством «Детская литература») «Черное и белое», за которой последовали и другие.

Свою задачу М.М. Колтун видел в том, чтобы (как он писал еще в 1985 году): «... внести своими книгами посильный вклад в осуществление благородной цели, которая несколько сухо, но точно называется "воспитание гармонично, всесторонне развитого и образованного человека"».

Г. А. Гухман

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЕ ИЗДАНИЕ
Серия «Твой кругозор»

Колтун Марк Михайлович

Мир физики

ДЛЯ СТАРШЕГО ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА

Зав. редакцией *В. И. Егудин*

Редактор *Е. Г. Таран*

Художественный редактор *Т. В. Глушкова*

Компьютерная верстка *А. С. Черпаков*

Технический редактор *С. Н. Терехова*

Корректор *Е. В. Казакова*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000.
Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 28.09.07. Формат
70×100 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура Ньютон. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 12,16.
Тираж 10 000 экз. Заказ № 25130.

Открытое акционерное общество «Издательство «Просвещение». 127521, г. Москва,
3-й проезд Марьиной роши, д. 41.

Отпечатано в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат».
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, д. 59. www.sarpk.ru



Т В О Й К Р У Г О З О Р

М. М. Колтун

Мир физики

КНИГА ЗАМЕЧАТЕЛЬНОГО ПЕДАГОГА И УЧЕНОГО,
ПРОФЕССОРА М. М. КОЛТУНА ЯВЛЯЕТСЯ
ВВЕДЕНИЕМ В ПОИСТИНЕ ВЕЛИКИЙ
И НЕИСЧЕРПАЕМЫЙ МИР ФИЗИКИ. ВЫ УЗНАЕТЕ
О ПРОЦЕССАХ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ПРИРОДЕ,
ОБ ОТКРЫТИИ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАКОНОВ
И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ, О ВЕЛИКИХ УЧЕНЫХ,
ПРИБЛИЗИВШИХ ЧЕЛОВЕЧЕСТВО К РАЗГАДКЕ
ТАЙН БЫТИЯ.

«Твой кругозор» — это проверенные временем традиции научно-познавательной литературы для детей. В серию вошли лучшие книги по гуманитарным и естественно-научным предметам, написанные российскими и зарубежными авторами. Книги серии позволят вам расширить кругозор, повысить свой образовательный уровень и стать знатоками в различных областях знаний.

МАТЕМАТИКА РУССКИЙ ЯЗЫК ФИЗИКА ГЕОГРАФИЯ ИСТОРИЯ

ISBN 978-5-09-017959-1



9 785090 179591